



Työterveyslaitos | Arbetshälsöinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

Sisäilmaongelmien ennaltaehkäisy elinkaarimallia käytettäessä ja energiatehokkuutta tavoiteltaessa (SEEK)

Tutkimushankkeen loppuraportti

**Rauno Holopainen
Kari Salmi
Leena Aalto
Katja Tähtinen
Jari Stengård
Pertti Pasanen
Maija Leppänen
Marko Hyttinen
Tapani Ollila
Arto Säämänen
Sanna Lappalainen
Leila Kakko
Kari Reijula**





Työterveyslaitos | Arbetshälsöinstitutet
Finnish Institute of Occupational Health

SISÄILMAONGELMIEN ENNALTAEHKÄISY ELINKAARIMALLIA KÄYTETTÄESSÄ JA ENERGIATEHOKKUUTTA TAVOITELTAESSA

LOPPURAPORTTI

Rauno Holopainen¹, Kari Salmi¹, Leena Aalto¹, Katja Tähtinen¹, Jari Stengård¹,
Pertti Pasanen², Maija Leppänen², Marko Hyttinen², Tapani Ollila¹,
Arto Säämänen¹, Sanna Lappalainen¹, Leila Kakko³, Kari Reijula¹

1 Työterveyslaitos

2 Itä-Suomen yliopisto

3 Tampereen ammattikorkeakoulu

Työterveyslaitos

Työtilat TH03, Arinatie 3 A, 00370 Helsinki.

PL 40

00251 Helsinki

www.ttl.fi

Valokuvat: Aalto L., Holopainen R., Pietarinen V.-M., Salmi K., Tähtinen K.,
Leppänen M. Kakko L.

© 2016 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston tuella.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-703-3 (nid.)

ISBN 978-952-261-702-6 (PDF)

Juvenes Print Oy, Tampere, 2016



TIIVISTELMÄ

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eroaako sisäympäristön laatu elinkaarikouluissa verrattuna kouluihin, joissa ei sovellettu elinkaarisopimuksia. Sisäympäristön laatua arvioitiin mittauksin ja käyttäjäkokemuksin. Lisäksi kouluissa arvioitiin rakennusteknisten tekijöiden vaikutusta sisäilman laatuun asiakirjatietojen ja kohteessa tehtyjen katselmusten avulla. Koulujen energiakulutustietoja arvioitiin. Lisäksi verrattiin hankkeissa käytettyjä elinkaarisopimuksien sisältöjä.

Tutkimukseen valittiin kuusi elinkaarikoulua ja kuusi kaupunkien omarahoitteista koulua (=vertailukoulua). Koulut olivat esikouluja, ala- ja yläasteita sekä lukioita, jotka sijaitsivat pääkaupunkiseudulla ja Pohjois-Savon alueella. Kouluissa tehtiin ilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden, ilman hiilidioksidipitoisuuden, sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien, paine-erojen ja siivouksen laadun mittauksia lukuvuosina 2014–2015 ja 2015–2016. Rakennusten suunnitteluun ja lähtötietoihin liittyvät asiakirjat kerättiin ja kohteissa tehtiin rakennustekniset katselmuksat vuonna 2015. Energian ja vedenkulutustiedot kerättiin kouluista vuosilta 2013 ja 2014.

Koulujen rehtorit haastateltiin ja koettua sisäympäristöolosuhteita kartoitettiin opettajille tehdyllä sisäilmastokyselyllä. Rakennusten suunnitteluun ja toteutukseen osallistuneille arkkitehteille, rakennesuunnittelijoille, työmaavalvojille ja urakoitsijoille tehtiin kyselyt vuosina 2015 ja 2016. Kyselyissä kartoitettiin mm. eri tahojen välistä yhteistyön sujuvuutta, hankkeiden onnistumiseen vaikuttavia tekijöitä sekä sisäilman laatuun vaikuttavia suunnittelun lähtötietoja ja suunnittelulle annettuja tavoitearvoja.

Tulokset osoittivat, että energiatehokkuusluokka ja toteutunut energiankulutus voivat poiketa kouluissa merkittävästi toisistaan. Sisäilmasto-olosuhteita voidaan pitää tavanomaisena sisäilman laadun mittausten osalta sekä elinkaari- että vertailukouluissa. Lisätutkimukset muuttuvailmavirtasäätelysten ilmanvaihtojärjestelmien toiminnasta ja niiden tarpeellisuudesta kouluissa olisi tarpeen. Työmaavalvojat arvioivat rakennustyömaan puhtauden ja ilmanvaihtojärjestelmien rakentamisen laadun selvästi paremmaksi elinkaarikouluissa kuin vertailukouluissa. LVIA-järjestelmistä valvojille toimitetuissa asiakirjoissa oli havaittu puutteita kanavien tiiviysmittauksen ja ilmavirtojen- ja säädön sekä toimintakokeiden asiakirjojen osalta sekä elinkaari- että vertailukouluissa. Rehtorit ja opettajat olivat yleisesti melko tyytyväisiä koulujen sisäympäristön laatuun. Elinkaarikouluissa opettajat pitivät sisäympäristöolosuhteita hieman parempana kuin opettajat kaupungin omarahoitteisissa kouluissa.

Lähes kaikissa tarkastelluissa kouluissa oli peruskorjattu rakennuksen osa ja uusi laajennusosa. Rakennusteknisten lähtötietojen ja katselmusten perusteella sisäilman laatuun vaikuttavia mahdollisia haittatekijöitä ja rakennusteknisiä riskejä havaittiin



enemmän peruskorjatuissa rakennuksissa kuin uudisrakennuksissa. Eroa elinkaari-koulujen ja vertailukoulujen rakennusteknisten sisäilman laatuun vaikuttavien teki-jöiden välillä ei havaittu.

Rakennesuunnittelijat ja työmaan toteutukseen osallistuneet asiantuntijat olivat pää-asiassa tyytyväisiä hankkeen asiantuntijoiden välisen yhteistyön laatuun ja määrään sekä hankkeiden onnistumiseen. Kyselyiden mukaan työmaan kosteudenhallinnan suunnittelussa, sisäympäristön ja kuntotutkijoiden sekä sisäilma-asiantuntijoiden yhteistyössä havaittiin sellaisia puutteita, joilla voidaan arvioida olevan vaikutuksia myös rakennusten sisäilman laatuun yleisesti. Merkittäviä eroavaisuuksia elinkaari-hankkeiden ja perinteisten hankkeiden välillä ei havaittu. Tuloksia ei voida yleistää kohteiden ja vastauksien pienen määrän vuoksi.

Arkkitehdeille kohdennetun kyselyn mukaan oltiin yleensä tyytyväisiä yhteistyöhön eri osapuolien kesken. Pohjois-Savossa elinkaarikoulujen osalta pidettiin hyvänä sitä, että sisäilmariskeihin suhtauduttiin vakavasti ja ratkaisuisa haettiin selkeästi ylläpi-don kannalta kestäväää ratkaisua, ei niinkään halvinta ratkaisua. Toisaalta tuotiin esille, että hankemalli ei oikein kannusta arkkitehtonisesti viimeisteltyyn lopputuloksen tai uusien ratkaisujen kokeilemiseen vaan riskien hallinta ja virheiden välttäminen koros-tuvat. Elinkaarisopimusmallille ei tämän tutkimuksen perusteella saatu selkeitä etuja.

Sisäilmaselvitykset olivat kyselyjen mukaan käytettävissä lähes kaikissa kohteissa, joi-hin kuului peruskorjausta niin Pohjois-Savossa kuin pääkaupunkiseudulla. Elinkaa-rikoulujen osalta kyselyn mukaan lähes aina oli suunnittelusopimukseen kirjattu ta-voitearvot, -tasot ja vaativuusluokat sekä sovittu sopimuksessa vastuista/riskeistä / sanktioista/palkkioista.

Kirjoittajat kiittävät lämpimästi Työsuojelurahastoa sekä Espoon kaupunkia tutkimuk-sen rahoittamisesta sekä Espoon ja Kuopion kaupunkeja osallistumisesta tutkimusai-neiston keräämiseen. Tutkimus ei olisi ollut mahdollista ilman kenttämittauksia todel-lisissa elinkaari- ja vertailukouluissa. Kirjoittajat kiittävät koulujen rehtoreita, opettajia ja kyselyihin vastanneita henkilöitä sekä muita tutkimukseen osallistuneita hyvästä ja antoisasta yhteistyöstä.

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the differences between the indoor environment quality of public-private partnership schools and conventionally built, renovated and maintained schools. Indoor environment quality was evaluated using measurements and user experiences. The effect of schools' structural engineering factors on indoor air quality was also determined using surveys in schools and documented information. Schools' purchased energy data was evaluated. We also compared the contents of the contract models used.

Six public-private partnership schools and six conventionally built schools were selected for the study. The schools were pre-, primary, secondary, and high schools, located in the Helsinki metropolitan area and Pohjois-Savo region in Finland. Air temperature, relative humidity, indoor air chemical impurities, air pressure difference and cleaning quality measurements were carried out in the schools during sessions in 2014–2015 and 2015–2016. Building design and basic information documents were collected, and structural engineering surveys were carried out in the schools in 2015. The schools' purchased energy and water use data were collected for the years 2013 and 2014.

The principals were interviewed and perceived indoor air quality was evaluated by giving the teachers a questionnaire survey. Architects, structural engineers, construction supervisors and contractors who participated in the buildings' design and implementation also answered a questionnaire. For example factors affecting the fluency of co-operation between various parties, the success of projects and design, and basic information concerning the factors that affects indoor air quality and target values were elicited.

The results showed that calculated purchased energy needs and purchased energy use may considerably differ from each other in the school buildings. Indoor air quality can be regarded as normal in both public-private partnership and conventionally built schools. The functioning and the necessity of demand-controlled ventilation systems should be studied in more detail in schools. Construction supervisors assessed construction site cleanliness and ventilation system construction as better in public-private partnership schools than in conventional schools. The documents regarding ductwork leakage measurements, airflow adjustments and functional tests that had been submitted to the HVAC system supervisors were found to be deficient in both public-private partnership schools and conventional schools. The principals and teachers were quite satisfied with the indoor air quality in both school types. Teachers of private partnership schools rated indoor air quality as slightly better than teachers in conventional schools.

Almost all schools had a renovated part and new extension part. Based on structural engineering documents and surveys, hazards that influenced indoor air quality emerged more in renovated buildings than in new buildings. However, we found no differences between the influencing factors of the two school types.

Structural engineers and other specialists who had participated in the construction projects were mainly satisfied with the success of the project and the quality and quantity of the co-operation between specialists. According to the questionnaire results, the hazards that may influence indoor air quality generally in construction sites appeared to be humidity control, indoor air target values, cleanliness class, the design of building physics, and co-operation between indoor air specialists and building investigators. There were no significant differences between public-private partnership schools and conventionally built schools, but because the number of respondents was small, we cannot generalize this.

The results of the architects' questionnaire showed that they were generally satisfied with the co-operation between the various parties. Public-private partnership schools in Pohjois-Savo considered it good that hazards related to indoor air were taken seriously, and that sustainable solutions were searched rather than just choosing the cheapest. On the other hand, the public-private partnership model does not seem to encourage an architecturally finished result or experimenting with solutions; instead it tends to emphasize controlling risks and avoiding mistakes. Public-private partnership showed no clear benefits in this research.

Indoor air quality surveys were available at almost every school that had been renovated, both in the Helsinki metropolitan area and in the Pohjois-Savo region. According to the questionnaire survey, public-private partnership schools' engineering contracts almost always included target values and levels and requirement categories as well as responsibilities, sanctions, risks and rewards.

The authors warmly thank TSR – the Finnish Work Environment Fund and the cities of Espoo and Kuopio for financially supporting this research. This study would not have been possible without field measurements in real public-private partnership and conventionally built schools. The authors wish to kindly thank the school principals, teachers, other contact persons and those who responded to the surveys for their smooth, fruitful co-operation.



SISÄLLYS

1 Johdanto.....	9
2 Aineisto.....	11
2.1 Kohteiden perustiedot.....	11
2.2 Kohteiden talotekniikan perustiedot.....	14
3 Menetelmät.....	16
3.1 Lämpötila ja suhteellinen kosteus.....	16
3.2 Hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot.....	16
3.3 Äänitaso.....	16
3.4 Kemialliset epäpuhtaudet.....	17
3.5 Siivouksen laatu ja siivottavuus.....	20
3.6 Energian ja vedenkulutus kouluissa.....	20
3.7 Rakennustekniset lähtötiedot ja katselmukset.....	20
3.8 Haastattelut ja sisäilmastokyselyt.....	21
3.9 Kyselyt.....	21
4 Tulokset.....	23
4.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.....	23
4.2 Hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot.....	25
4.3 Äänitaso luokkahuoneissa.....	27
4.4 Kemialliset epäpuhtaudet.....	28
4.5 Siivouksen laatu ja siivottavuus.....	32
4.6 Energia ja vedenkulutus.....	33
4.7 Rakennustekniset katselmukset.....	34
4.8 Haastattelut.....	47
4.9 Koettu sisäympäristön laatu.....	52
4.10 Kyselyt.....	53
4.11 Elinkaarihankkeiden palvelukuvausten eroja.....	62



5 Tulosten tarkastelu.....	63
5.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus.....	63
5.2 Hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot.....	63
5.3 Äänitaso luokkahuoneissa.....	64
5.4 Kemialliset epäpuhtaudet.....	65
5.5 Siivouksen laatu ja siivottavuus.....	67
5.6 Energian ja veden kulutus.....	68
5.7 Rakennustekniset katselmukset.....	69
5.8 Haastattelut.....	72
5.9 Koettu sisäympäristön laatu.....	73
5.10 Kyselyt.....	74
6 Johtopäätökset.....	75
Lähteet.....	77
Liitteet.....	81

1 JOHDANTO

Rakennusten energiatehokkuus ja energian säästöön tähtäävä toiminta ovat avainasioita, kun pyritään saavuttamaan energiatehokkuusdirektiivin asettamat energiatehokkuustavoitteet (EPBD 2010). Rakennusten korkea energiatehokkuus ja hyvä sisäympäristön laatu voivat parhaimmillaan toteutua samanaikaisesti (Holopainen ym. 2015). Hyvän sisäympäristön ylläpitäminen on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi suomalaisissa kouluissa (Turunen 2014, OAJ 2012, Reijula 2012). Vuonna 2012 tehdyssä kyselyssä koulujen rehtorit raportoivat sisäympäristöongelmia olevan yli kahdessa kolmasosassa Suomen kouluissa viimeisen kahden vuoden aikana (OAJ 2012). Rehtorit arvioivat sisäympäristöongelmien johtuvan kouluissa riittämättömästä ilmanvaihdosta (82 %), ilmanvaihdon toimintahäiriöistä (62 %), kosteus- ja vesivahingoista (55 %), riittämättömästä rakenteiden ja ilmanvaihdon huollosta (34 %), materiaaliemissioista (31 %), rakennusvirheistä (30 %) ja mikrobivaurioista (21 %). Korjausten viivästymistä pidetään yhtenä tärkeimpänä syynä rakennusten kosteus- ja homeongelmiin (Reijula 2012).

Suomen kunnat ja kaupungit ovat käyttäneet erilaisia hankintamuotoja tarvittavien korjausten tekemiseen kouluissa. Elinkaarimalli on yksi perinteisten hankintamuotojen rinnalle kehitetty malli, jossa palveluntuottaja yhdellä sopimuksella vastaa ainakin hankkeen suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta pitkän sopimuskauden (10–40 vuoden) ajan (Tieva ja Junnonen 2009). Kohteen luovutus tapahtuu vasta sopimusajan lopussa eikä, kuten totuttua, kohteen käyttöön otossa. Elinkaarimallin on oletettu vähentävän sisäilmaongelmia, koska malli edellyttää koulurakennuksen kunnon pysyvän sovitussa tasossa koko ylläpitojakson ajan. Elinkaarimallia on käytetty tai ollaan ottamassa käyttöön koulujen korjauksissa useissa Suomen kunnissa ja kaupungeissa (Espoon kaupunki 2013, Jyväskylän kaupunki 2013, Kuopion kaupunki 2015, Oulun kaupunki 2013, Pudasjärven kaupunki 2016) .

Ensimmäinen elinkaarikoulu rakennettiin Suomeen 2003 (Tieva ja Junnonen 2009, Kaivomestari 2015). Koulun ylläpitojakso on nyt likimain puolessa välissä sopimusta. Koulun rehtorin mukaan (Holopainen 2015) käyttäjät ovat olleet tyytyväisiä koulun sisäympäristön laatuun. Palveluntuottaja on reagoinut nopeasti havaittuihin putki- vuotoihin tai muihin vastaaviin ongelmiin ja tehnyt korjaavat toimenpiteet nopeassa aikataulussa.

Elinkaarirakentamisesta on julkaistu useita artikkeleita (Garwin ja Gross 2012, Al-Sharif ym. 2004, Bing ym. 2005, Forrer ym. 2010, Tang ym. 2010, Roehrich ym. 2014). Useimmat niistä käsittelevät riskien ja talouden hallintaa. Elinkaarirakennusten sisäympäristön laadusta ja energian ja vedenkulutuksesta ei ole saatavilla julkaistua tietoa.



Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kerätä informaatiota suomalaisista elinkaarikouluista ja verrata tuloksia kaupungin omarahoitteisiin kouluihin, joiden huolto ja ylläpito oli tuotettu kaupungin omalla organisaatiolla. Tutkimustulosten perusteella voidaan mahdollisesti havaita eroavuuksia elinkaari- ja perinteisen rakentamisen suunnittelussa ja rakennuksen ylläpidossa sekä niiden mahdollisia vaikutuksia sisäympäristön laatuun ja tilojen käyttäjien kokemuksiin sisäympäristöstä. Tutkimus tehtiin vuosina 2014–2016.

2 AINEISTO

2.1 Kohteiden perustiedot

Tutkimukseen valittiin kuusi elinkaarisopimusmallilla rakennettua koulua ja kuusi vertailukoulua, jotka olivat rakennettu kaupunkien omalla rahoituksella. Kouluista täysin uusia rakennuksia oli neljä, peruskorjauksen yhteydessä laajennettuja kouluja oli seitsemän ja yksi kouluista peruskorjattu, mutta ei laajennettu.

Taulukko 1. Elinkaari- ja vertailukouluissa oli uudisrakennuksia ja peruskorjattuja vanhoja rakennuksia, joihin korjausten yhteydessä oli rakennettu laajennusosa.

Koulut	Uudisrakennus	Peruskorjattu	Peruskorjattu ja laajennettu
Elinkaarikoulut	1	1	4
Vertailukoulut	3	0	3

Peruskorjatut koulut oli korjattu niiden teknisen käyttöiän päättymisen vuoksi. Kolmessa peruskorjatussa koulussa oli ollut sisäilmastoon liittyviä ongelmia ennen peruskorjausta, jotka osaltaan olivat nopeuttaneet koulujen peruskorjausta. Tutkitut koulut sijaitsivat pääkaupunkiseudun ja Pohjois-Savon alueella. Pääkaupunkiseudun kouluissa tutkimus tehtiin lukukauden 2014–2015 aikana ja Pohjois-Savon kouluissa lukukauden 2015–2016 aikana.

Elinkaarikoulut oli rakennettu vuosina 1954–2011, ja ne oli peruskorjattu vuosina 2010–2013 (taulukko 2). Kolme kouluista oli esikouluja ja ala-asteita. Muut koulut olivat yläaste- ja lukio, ala-aste ja esikoulu sekä ala- ja yläaste. Tutkimuslukukausina kouluissa oli oppilaita keskimäärin 501 (275–950) ja opettajia 38 (18–70). Oppilaiden määrä vaihteli luokahuoneissa 9–32. Rakennusten bruttoneliöala oli keskimäärin 6887 m² (3900–11030 m²) ja keskimääräinen tilavuus 28955 m³ (14000–48110 m³). Kouluihin oli rakennettu peruskorjauksen aikana lisärakennus lukuun ottamatta kouluja E3 ja E6. Peruskorjauksen jälkeen palveluntuottaja oli vastuussa koulun huollosta ja ylläpidosta seuraavan 25 vuoden ajan. Peruskorjatut elinkaarikoulut olivat ennen korjausta kaupungin omarahoitteisia kouluja, joiden huollosta ja ylläpidosta vastasi kaupunki.

Kolme kaupunkien omarahoitteista koulua oli rakennettu vuosina 1966–1970 ja ne olivat peruskorjattu 2006–2010 (taulukko 2). Kolme muuta tutkimukseen valittua vertailukoulua oli rakennettu vuosina 2007–2010. Kolmessa koulussa oli ala- ja yläaste ja kahdessa koulussa ala-aste. Yksi kouluista oli yläaste ja lukio. Lisäksi kolmessa kou-



lurakennuksessa oli esikoulu ja esikoulun lisäksi yhdessä oli myös päiväkotia, nuorisotila ja kaupungin kirjasto. Koulujen oppilaiden määrä oli tutkimuslukukausina keskimäärin 448 (185–730) ja opettajia oli 47 (16–110). Oppilaiden määrä luokissa vaihteli 6–36. Rakennusten bruttopinta-ala oli keskimäärin 7679 m² (3453–11470 m²) ja rakennustilavuus 35063 m³ (13210–54 900 m³). Lisärakennus oli rakennettu peruskorjattuihin kouluihin korjauksen yhteydessä. Rakentamisen ja peruskorjauksen jälkeen kaupunki oli vastuussa koulun kiinteistönhoidosta ja ylläpidosta.

Taulukko 2. Tutkittujen koulujen rakennusvuosi vaihteli vuodesta 1954 vuoteen 2013.

Koulu	Rakennusvuosi	Laajennuksen rakennusvuosi	Peruskorjausvuosi
V1	1969	2010	2010
V2	2010		
V3	2010		
V4	1970	2010	2010
V5	1966	1988 ja 2006	2006
V6	2007		
E1	1954	2010	2010
E2	1958	2011	2011
E3	1976		2013
E4	1971	2013	2013
E5	1975	2012	2012
E6	2011		

Taulukossa 3 on esitetty tarkempia tietoja tutkituista elinkaarikouluista (merkitty E#) ja kaupungin omahoitteisista kouluista (merkitty V#).



Taulukko 3. Elinkaarikoulujen käyttötarkoitus ja koko.

Koulu	Koulun käyt- tötarkoitus	Oppilaiden ja opettajien määrä (oppi- laiden määrä luokissa)	Kerrosten lukumäärä	Brutto- pinta-ala [m ²]	Rakennus- tilavuus [m ³]
E1	Esikoulu ja ala-aste	275 ja 18 (16–23)	2	3 900	14 000
E2	Esikoulu ja ala-aste	410 ja 34 (10–25)	1 ja kellari	6 190	25 100
E3	Yläaste ja lukio	950 ja 70 (16–32)	2	11 030	48 110
E4	Esikoulu ja ala-aste	530 ja 40 (9–25)	2	7 420	31 000
E5	Ala-aste	409 ja 29 (18–26)	2 ja kellari	5475	23080
E6	Esikoulu, ala- ja yläaste	430 ja 37 (16–24)	2	7304	32440
V1	Esikoulu ja ala-aste	438 ja 29 (10–30)	2	6 720	33 900
V2	Esikoulu, ala- ja yläaste	540 ja 58 (14–23)	2	10 280	49 750
V3	Päiväkoti, esikoulu, ala- ja yläaste	730 ja 110 (6–28)	2	10 550	54 900
V4	Ylä-aste ja lukio	600 ja 50 (25–36)	2	11 470	42 250
V5	Ala- ja yläaste	196 ja 18 (10–22)	1 tai 2 A-osassa kellari	3603	13210
V6	Ala-aste	185 ja 16 (13–28)	2	3453	16368

Oppilaiden ja opettajien määrä lukuvuosina 2014–2015 tai 2015–2016. Bruttopinta-ala ja rakennustilavuudet on saatu rakennusloistuksista tai haastattelulomakkeista.

2.2 Kohteiden talotekniikan perustiedot

Kouluissa oli nykyaikainen rakennusautomaatiojärjestelmä ja sähköinen huoltokirja. Koulujen ilmanvaihtojärjestelmät olivat ns. tarpeen mukaan ohjattavia muuttuvilmavirtaisia (MIV) järjestelmiä. Huonetilojen ilmanjako oli pääsääntöisesti toteutettu sekoittavalla ilmanjaolla. Syrjäyttäviä ilmanjakolaitteita oli muutamassa koulussa. Huonetilojen ilmanvaihtoa ohjattiin hiilidioksidin (CO₂) ja ilman lämpötilan mukaan. Tilojen lämmitys oli toteutettu vesikiertoisilla pattereilla. Lämmitysenergia tuotettiin kouluissa pääasiassa kaukolämmöllä. Kahdessa elinkaarikoulussa oli maalämpöpumppu, jolla tuotettiin osa lämmitystarpeesta, ja yhdessä koulussa osa lämmitystarpeesta tuotettiin aurinkopaneeleilla. Lisäksi yhden koulun jäähdytystarvetta oli pienennetty automaattisesti toimivalla ikkunoiden auringonsuojausjärjestelmällä. Kaupungin kahdessa omarahoitteisissa kouluissa oli maalämpöpumppu ja auringon lämpökerääjät, joilla tuotettiin uusiutuvaa energiaa kouluihin.

Taulukko 4. Kohteiden talotekniikan perustiedot.

Koulu	Lämmitysenergian tuotto ja tilojen lämmitysjärjestelmät	Ilmanvaihtojärjestelmä (käyntiaika) ^a	Uusiutuvan energian tuotto
E1	Kaukolämpö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja pyörivä LTO (arkipäivinä 6–17)	–
E2	Kaukolämpö/sähkö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja pyörivä LTO (arkipäivinä 6–16)	Maalämpö-pumppu
E3	Kaukolämpö/sähkö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja pyörivä LTO (arkipäivinä 7–17)	Maalämpö-pumppu ja aurinkopaneelit
E4	Kaukolämpö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja ristivirta LTO (arkipäivinä 6–16)	–
E5	Kaukolämpö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja pyörivä LTO (arkipäivinä 05-21, viikonloppuna 10-13)	–
E6	Kaukolämpö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja pyörivä LTO (arkipäivinä 05-21, viikonloppuna 10-13)	–
V1	Kaukolämpö ja vesikeskuslämmitys	MIV ja ristivirta LTO (arkipäivinä 7.30–15)	–



V2	Kaukolämpö/aurinko/ sähkö ja vesikeskusläm- mitys	MIV ja pyörivä LTO (joka päivä 00–24)	Maalämpö-pumppu ja aurinkokerääjät
V3	Kaukolämpö/aurinko/ sähkö ja vesikeskusläm- mitys	MIV ja pyörivä LTO (Maanantaista klo 3 perjantaihin klo 24)	Maalämpö-pumppu ja aurinkokerääjät
V4	Kaukolämpö ja vesikes- kuslämmitys	MIV ja pyörivä LTO (arkipäivinä 6–17)	–
V5	Kaukolämpö ja vesikes- kuslämmitys	MIV pyörivä LTO (arkipäivinä 06:00–17:00)	–
V6	Kaukolämpö ja vesikes- kuslämmitys	MIV pyörivä LTO (arkipäivinä 05:15–18:30)	–

^a Ilmanvaihtojärjestelmissä voi olla koneita, joiden käyttöaika poikkeaa esitetystä.

3 MENETELMÄT

Mittaukset tehtiin opettajainhuoneessa, kolmessa luokkahuoneessa ja koulun liikuntasalissa. Luokkahuoneet valittiin koulun rehtorin kanssa, jotta ne edustivat mahdollisimman hyvin tutkitun koulun tavanomaista luokkahuonetta. Oppilaiden määrä vaihteli tutkituissa luokkahuoneissa 19–32 elinkaarikouluissa ja 16–34 vertailukouluissa.

3.1 Lämpötila ja suhteellinen kosteus

Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus mitattiin TinyTag View 2 data loggereilla tai SiMAPin johdottomilla antureilla (E3, E5, V4 ja V5 koulut). TinyTag tallensi mitatun arvon joka 15 minuutti ja SiMAP joka 10 minuutti. Ulkoilman lämpötilatiedot kerättiin Ilmatieteenlaitoksen lähimmältä sääasemalta (Ilmatieteenlaitos 2015, 2016). Ilman lämpötila- ja suhteellisen kosteuden mittaukset tehtiin joulukuun 2014 (2015) ja toukokuun 2015 (2016) välillä.

3.2 Hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot

CO₂ mitattiin yhdestä tai kahdesta luokkahuoneesta ja koulun liikuntasalista Delta Ohm HD21AB17 sisäilmamittarilla tai SiMAPin antureilla (E3, E5, V4 ja V5 koulut). Paine-ero luokkahuoneen ja ulkoilman väliltä mitattiin Swema 3000 mittarilla, jossa oli sisäänrakennettu SWA10 paineanturi ja automaattinen paine-eron nollaustoiminta. CO₂ ja paine-eromittaukset tehtiin samaan aikaan. Delta Ohm HD21AB17 ja Swema 3000 mittarit tallensivat mitatun arvon joka 15 minuutti. CO₂ ja paine-eromittauksen kesto vaihteli viikosta viiteen viikkoon paitsi E3, E5, V4 ja V5 kouluissa, joissa mittaukset tehtiin joulukuusta 2014 (2015) toukokuun 2015 (2016) loppuun. Kuvat 1 ja 2 esittävät ilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden, CO₂ ja paine-eron seurantamittauksista E3 koulun luokkahuoneessa.

3.3 Äänitaso

Mittaukset tehtiin ääni SiMAPiin liitettyillä äänitasotasomittareilla TECPEL 331 koulujen luokkahuoneissa (E3, E5 ja V5). Tulokset on esitetty yhden tyypillisen kouluviikon ajalta noin minuutin välein tallennettuna A-äänitasona. Mittari oli sijoitettuna opettajan pöydälle.



Kuvat 1 ja 2. Ilman lämpötilan, suhteellisen kosteuden, CO₂:n, paine-eron, ja melun mittaus E3 koulun luokkahuoneessa. Mittausanturit olivat sijoitettu opettajan pöydän kulmaan.

3.4 Kemialliset epäpuhtaudet

Kemiallisten epäpuhtauksien ilmapitoisuudet mitattiin kahdessa luokkahuoneessa ja opettajien huoneessa. Tiloista mitattiin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet, ammoniakkin pitoisuudet sekä aldehydi- ja ketoniyhdisteiden pitoisuudet. Mittaukset tehtiin normaalin päivärytmin aikana. Lisäksi VOC-näytteitä sekä aldehydi- ja ketoninäytteitä kerättiin yöllä, millä pyrittiin selvittämään, vaikuttaako ilmanvaihdon yöksi pysäyttäminen epäpuhtauspitoisuuksiin.

Ammoniakki

Ammoniakki kerättiin kuplittamalla laimeaan (0,1 N) rikkihappoon (kuva 3). Keräysaika oli 344-413 min ja tilavuusvirta 0,9-1,1 l/min. Keräysliuoksen tilavuus oli näytteenkeräyksen alussa 15 ml, mutta haihtumisen vuoksi lopullinen näytetilavuus oli 9-11,5 ml. Kustakin tilasta kerättiin yksi näyte normaalin päivärytmin aikana (klo 6:16-14:39 välillä). Näytteet analysoitiin ioni-analysaattorilla (Expandable ionAnalyzer EA920, OrionResearch) yhdistettynä ammoniakki-selektiiviseen elektrodiin (High Performance Ammonia Ion Selective Electrode, Orion 9512HPBNWP). Ammoniakkipitoisuuden määrittämistä varten jokaisella mittauskerralla tehtiin oma standardisuora vasteille (mV) standardiliuoksen laimennoksien avulla (0,1 ppm-100 ppm).



Kuva 3. Kuva kemiallisten yhdisteiden näytteenkeruusta.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet)

VOC-näytteet kerättiin Tenax TA adsorbenttiin (Markes International Ltd.), joka soveltuu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keräämiseen (soveltuvuus heksaani - heksadekaani). VOC-näytteitä kerättiin sekä päivällä että yöllä. Päivällä (klo 6:18-18:51 välillä) näytteitä kerättiin kustakin tilasta 3-4 kpl ja yöaikaan (klo 1-2) yksi näyte. Näytteiden keräysaika oli 60-75 min ja tilavuusvirta vaihteli välillä 0,098-0,172 l/min. Analyysit tehtiin termodesorptiolaitteistolla (ATD 400, Perkin Elmer) johon oli yhdistetty kaasukromatografi (Agilent 6890) massaselektiivinen detektori (Agilent MSD 5973). Yhdisteet tunnistettiin ja niiden pitoisuustasot laskettiin ns. tolueeniekvivalentina jota käytetään yleisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sisäilmamittauksissa (ISO 16000-6). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet ilmoitettiin TVOC-arvona, johon luetaan yhdisteet väliltä heksaani-heksadekaani.

Aldehydi- ja ketoniyhdisteet

Aldehydi- ja ketoniyhdisteet kerättiin kaupallisilla DNPH-patruunoilla (Sep-Pak DN-PH-Silica Cartridges Plus-Short Body, Waters). Kustakin tilasta kerättiin yksi näyte päivällä (klo 6:33-14:39 välillä, keräysaika 247-401 min) ja yksi näyte yöllä (klo 14:19-7:39 välillä, keräysaika 729-1023 min). Tilavuusvirta näytteenotossa oli 1,09-1,71 l/min, lukuun ottamatta yhtä näytettä, jossa tilavuusvirta oli 0,57 l/min. Keräimiä säilytettiin kylmässä ennen ja jälkeen näytteenkeräyksen. Laboratoriossa näytteet eluoitiin keräimistä 3 ml:lla asetonitriiliä, jonka jälkeen näytteet analysoitiin HPLC:llä (Hewlett Packard 1050). Analyyseissä käytetty kolonni oli Hypersil PDS C18 (100*4 mm, 3 µm) ja injektiotilavuus oli 15 µl. Eluentteina käytettiin Millipore-suodatinlaitteistolla puhdistettua vettä, asetonitriiliä ja tetrahydrofuraania. Analyysin ajo-ohjelma on kuvattu taulukossa 5. Käytetty aallonpituus oli 360 nm. Kaikki käytetyt liuottimet olivat HPLC-laatua.

Taulukko 5. Aldehydi- ja ketonianalyysissä käytetty HPLC-ajo-ohjelma (ajoliuosten %-osuus).

Aika (min)	Vesi	Asetonitriili	Tetrahydrofuraani
0	65	30	5
2	65	30	5
15	27	73	0
20	10	90	0

Pääkaupunkiseuden koulujen (koulut E1-E4 ja V1-V4) osalta näytteistä analysoitiin formaldehydi, asetaldehydi, asetoni, propaanaali, butanoni, butanaali ja pentanaali. Pohjois-Savon kouluista (koulut E5-E6 ja V5-V6) määritettiin ilmapitoisuudet formaldehydille, asetaldehydille, akroleiinille, asetonille, propaanaalille, butanonille ja butanaalille.

3.5 Siivouksen laatu ja siivottavuus

Siivouksen laatua mitattiin soveltaen INSTA 800 menetelmää (SFS 5994. 2012) Tutkittavat tilat valittiin niin, että samoissa tiloissa tehtiin pintapölyjen mittaamisen lisäksi myös muita sisäilmatutkimuksia. Kohteina olivat kaksi luokkaa ja opettajienhuone. Pintapölyjen mittaukseen pyrittiin valitsemaan mahdollisimman samankaltaiset tilat, jotta vertailtavuus olisi hyvä.

Standardin mukaiset pintapölyt mitattiin käyttäen BM-Dustdetector –pintapölymittaria ja jokaisesta pintakategoriasta otettiin standardin mukaiset kolme geeliteippinäytettä, jolloin huoneen näytemääräksi muodostui 15 näytettä. Muutamassa luokassa ei ollut yläpölyjen kategoriaan kuuluvia pintoja, joten niistä tiloista mitattiin vain muut pinnat. Tilojen näytteenottopinnat valittiin niin, että ne olivat mahdollisimman samanlaiset joka tilassa ja koulussa. Saatuja pintapölykertymän tulosten keskiarvoja verrattiin standardin sisäilmatason vaatimuksiin.

Samoissa tiloissa havainnoitiin myös siivottavuutta, jolla tarkoitetaan tilojen ja pintojen saavutettavuutta niin, että pinnat pystytään puhdistamaan. Havainnointi suoritettiin sekä visuaalisesti, että valokuvaamalla. Kaikki näytteenottopisteet valokuvattiin. Mikäli pinnalla näkyi runsaasti pölyä, otettiin myös näistä kohdista valokuvia.

3.6 Energian ja vedenkulutus kouluissa

Laskutetut energian ja vedenkulutustiedot kerättiin kouluista vuosilta 2013 ja 2014. Elinkaarikoulun E3 peruskorjaus oli valmistunut vuoden 2013 joulukuussa, joten kulutustiedot tämän koulun osalta oli saatavilla vain vuodelta 2014. Lisäksi kouluista kerättiin energiatodistukset. Lämmöntarveluku (astepäiväluku) oli pääkaupunkiseudulla 3 592 Kd vuonna 2013 ja 3 464 Kd vuonna 2014 ja Pohjois-Savossa vastaavasti 4 264 Kd sekä 4 270 Kd (Ilmatieteen laitos 2016).

3.7 Rakennustekniset lähtötiedot ja katselmukset

Rakennusten lähtötietoina käytettiin rakennuksen rakenteisiin, arkkitehtuuriin, kuntoarvioihin ja korjaushistoriaan liittyviä asiakirjoja ja piirustuksia. Kohteista oli saatavilla asiakirjoja vaihtelevasti. Rakennusten kuntotutkimuksiin liittyviä asiakirjoja oli saatavilla niukasti.

Lähtötietojen lisäksi rakennuksiin tehtiin rakennustekniset katselmukset. Katselmukset kohdistettiin tiloihin, joissa tehtiin myös sisäilmanlaadun mittauksia. Myös tarkasteltavia tiloja ympäröivät tilat katselmoitiin mahdollisuuksien mukaan. Katselmuksessa kiinnitettiin huomiota rakenteissa tai niiden pinnoilla esiintyviin mahdollisiin sisäilman epäpuhtauslähteisiin ja lähtötietojen perusteella havaittuihin rakennusteknisiin riskeihin, joilla saattaa olla vaikutusta sisäilman laatuun.

Katselmukset tehtiin kaikissa kouluissa (n=12) ja myös koulujen laajennusosissa (n=7). Katselmus tehtiin aistinvaraisesti ja suoraan osoittavilla mittalaitteilla kuntoarviomenetelmiä (RT 18-11085) soveltaen, painottuen ensisijaisesti sisäilman laatuun vaikuttaviin tekijöihin. Aistinvaraisessa arvioinnissa tehtiin havaintoja mm. pinnoitteiden tai materiaalien vaurioista ja värimuutoksista sekä poikkeavista hajuista.

Kosteuskartoituksessa käytettiin pintailmaisinta (Tramex Moisture Encouter Plus). Kartoitus tehtiin betoni- ja kivirakenteista otantana/pistokoemaisesti ja kalusteita siirtämättä.

Ilman virtaussuuntia kartoitettiin Dräger merkkisavun (H_2SO_4) avulla.

3.8 Haastattelut ja sisäilmastokyselyt

Koulujen rehtorit haastateltiin marras- ja joulukuussa 2014 sekä syyskuussa 2015. Kysymykset, jotka liittyivät sisäympäristötekijöihin, ovat esitetty taulukoissa 13 ja 14. Arvosteluasteikko haastattelussa oli 4–10.

Haastatteluja tehtiin koulujen rehtoreille (n=11), tilaajan edustajille (n=7), LVI-suunnittelijoille ja valvojille (n=11), kiinteistöhoitajille (n=13) ja heidän työnjohtajilleen (n=4), vahtimestareille (n=4) ja elinkaarimanagereille (n=3). Haastatteluissa kartoitettiin mm. sisäympäristöön, suunnitteluun ja rakentamiseen sekä valvontaan ja yhteistyöhön eri osapuolien välillä liittyviä tekijöitä.

Koulujen opettajille tehtiin työterveyslaitoksen sisäilmastokysely, joka on kehitetty ns. MM-40 kyselyn pohjalta (Reijula ja Sundman-Digert 2004, Andersson 1998). Kyselyssä kerätään tietoa sisäympäristöön liittyvistä ongelmista, jotka on koettu viimeisen kolmen kuukauden aikana. Kyselytutkimus tehtiin kolme kertaa: lokakuussa ennen syyslomaa, helmikuussa ennen talvilomaa ja toukokuussa ennen kesälomaa. Vertailuaineistona käytettiin toimistoista kerättyä kyselyaineistoa, jossa perustuu noin 12 000 toimistotyöntekijän raporttoimaan sisäilmastokyselyyn (Reijula ja Sundman-Digert 2004).

3.9 Kyselyt

Rakennesuunnittelijat, työmaavalvojat ja urakoitsijat

Rakennesuunnittelijoille, urakoitsijoille ja työmaavalvojille lähetettiin sähköpostilla kyselyt (n=24) keväällä 2015 ja 2016. Tarvittavat yhteystiedot kerättiin hankkeen yhteistyökumppaneilta sähköpostilistojen muodossa. Kaikille tutkittujen kohteiden rakennesuunnittelijoille, työmaan valvojille ja urakoitsijoille lähetettiin muistutus kyselyyn osallistumisen mahdollisuudesta kaksi kertaa varsinaisen alkuperäisen kyselyajankohdan jälkeen.

Kyselylomakkeet laadittiin pdf-muotoisina sähköisesti täytettävänä lomakkeina, joissa oli pääsääntöisesti monivalintakysymyksiä sekä joitain avoimia kysymyksiä.

Kyselyissä kartoitettiin suunnitteluun, urakointiin ja työmaavalvontaan liittyviä tekijöitä, joilla voi olla mahdollisesti vaikutusta rakennusten sisäilman laatuun liittyviin tekijöihin. Lisäksi kyselyissä kysyttiin eri toimijoiden onnistumista rakennushankkeen eri vaiheissa arvosteluasteikolla 4-10. Lisäksi kartoitettiin onnistumista eri yhteistyötahojen välillä arvosteluasteikolla 4-10.

Arkkitehti- ja pääsuunnittelijat

Arkkitehteille ja pääsuunnittelijoille lähetettiin sähköpostilla kyselyt (n=12) keväällä 2015 pääkaupunkiseudun ja syksyllä 2015 Pohjois-Savon kohteisiin. Yhteystiedot saatiin hankkeen yhteistyökumppaneilta sähköpostilistojen muodossa. Vastauksia saatiin arkkitehtitoimistoilta viideltä kahdeksasta (5/8) pääkaupunkiseudun, ja kaikilta neljältä (4/4) toimistolta Pohjois-Savosta.

Kyselylomakkeet laadittiin pdf-muotoisina sähköisesti täytettävänä lomakkeina, joissa oli pääsääntöisesti monivalintakysymyksiä sekä joitain avoimia kysymyksiä.

Kyselyissä kartoitettiin, miten suunnittelijat olivat omasta mielestään huomioineet niitä tekijöitä, joilla on vaikutusta rakennuksen toimivuuteen ja rakennusten sisäilman laatuun. Lisäksi kyselyissä kysyttiin eri toimijoiden yhteistyön onnistumista rakennushankkeen eri vaiheissa. Molempia arvioitiin asteikolla 4-10.

4 TULOKSET

4.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

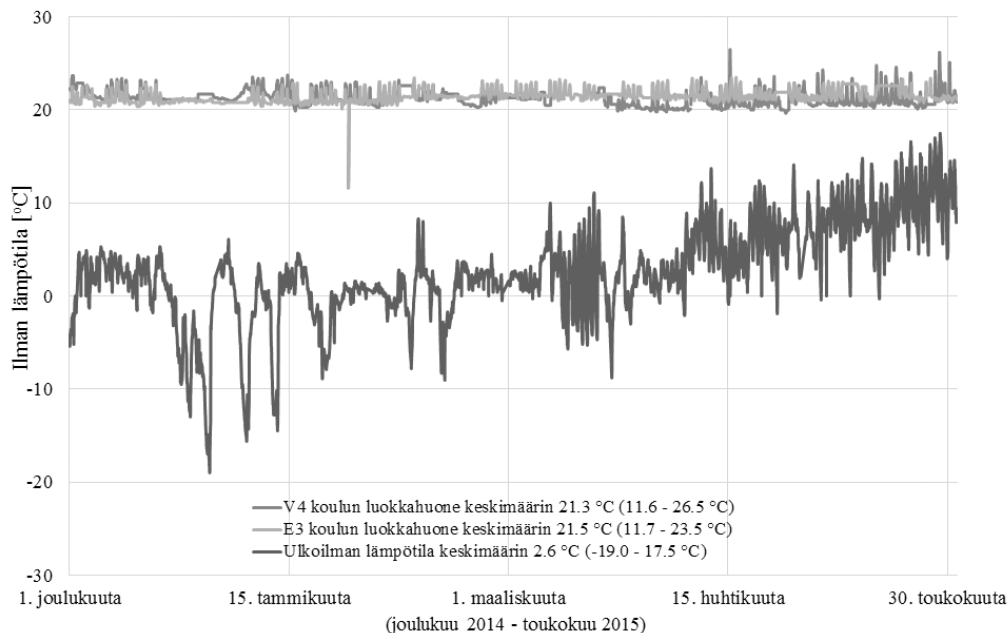
Mitattujen elinkaari- ja vertailukoulujen keskimääräiset lämpötilat talvella (joulukuu–helmikuu) ja keväällä (maaliskuu–toukokuu) on esitetty taulukossa 6. Yksittäisten tilojen mittaus tulokset on esitetty liitteessä 1 (taulukot 1 ja 2). Mitatut arvot ovat koko mittausjaksoilta.

Ulkoilman lämpötila [20] mittauspaikkakunnilla oli keskimäärin 0 °C (-19–8 °C) talvella 2014–2015 ja 6 °C (-9–18 °C) keväällä 2015 ja vastaavasti talvella 2015–2016 keskimäärin -6 °C (-32–9 °C) ja keväällä 2016 keskimäärin 5 °C (-15–25 °C).

Ilman lämpötilan tyypillinen vaihtelu koulujen luokahuoneessa on esitetty kuvassa 4.

Taulukko 6. Ilman keskimääräiset lämpötilat talvella (joulukuu–helmikuu) ja keväällä (maaliskuu–toukokuu).

	opettajainhuoneet		luokahuoneet		liikuntasalit	
	talvi	kevät	talvi	kevät	talvi	kevät
Elinkaari- koulut ka.	21,2	21,6	21,1	21,7	20,8	21,2
minimi– maksimi	20,0–22,2	21,2–22,5	19,9–22,5	20,2–22,9	18,5–22,1	19,5–22,2
Vertailu- koulut ka.	20,9	22,1	20,6	21,4	19,3	20,0
minimi– maksimi	20,6–21,3	21,5–22,7	18,4–23,8	20,6–23,3	17,8–21,7	18,5–21,5

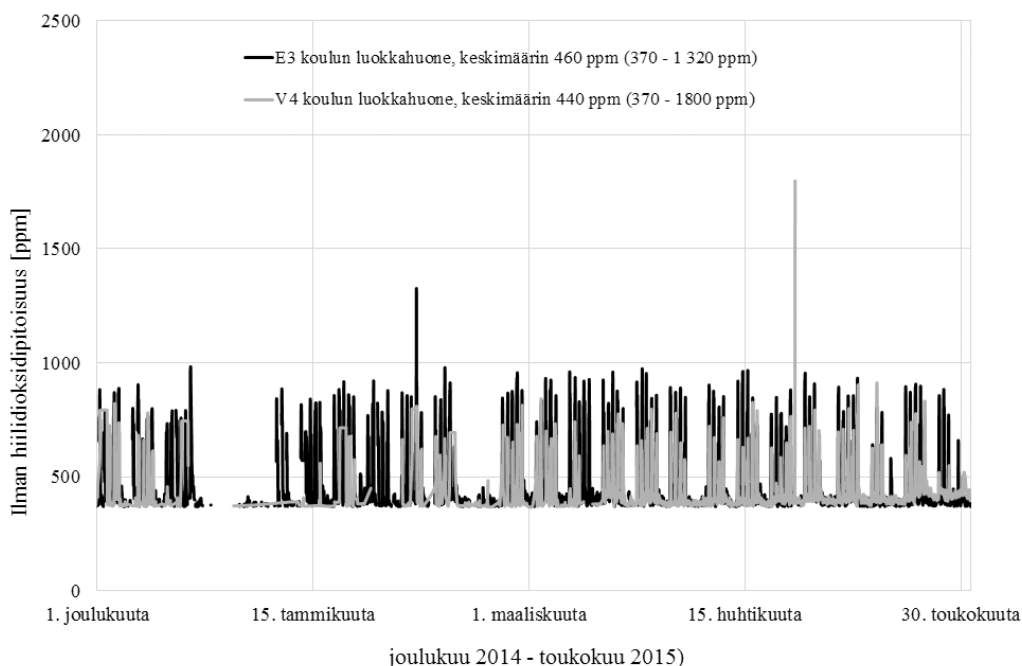


Kuva 4. Ilman lämpötilan vaihtelu elinkaarikoulun E3 ja vertailukoulun V4 luokkahuoneissa joulukuun 2014 ja toukokuun 2015 aikana. Osa V4 koulun mittausdatasta puuttuu. Molempien koulujen luokkahuoneissa oli 32 puplettia/oppilasta. Ulkoilman lämpötilatiedot on otettu Ilmatieteenlaitoksen paikalliselta sääasemalta (Ilmatieteenlaitos 2016).

Ilman suhteellinen kosteus oli elinkaarikoulujen luokkahuoneissa keskimäärin 23 % (19–28 %) ja vertailukouluissa 23 % (20–28 %) talvella. Keväällä ilman suhteellinen kosteus oli elinkaarikoulujen luokkahuoneissa 28 % (24–32 %) ja vertailukoulujen luokkahuoneissa 27 % (25–29 %).

4.2 Hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot

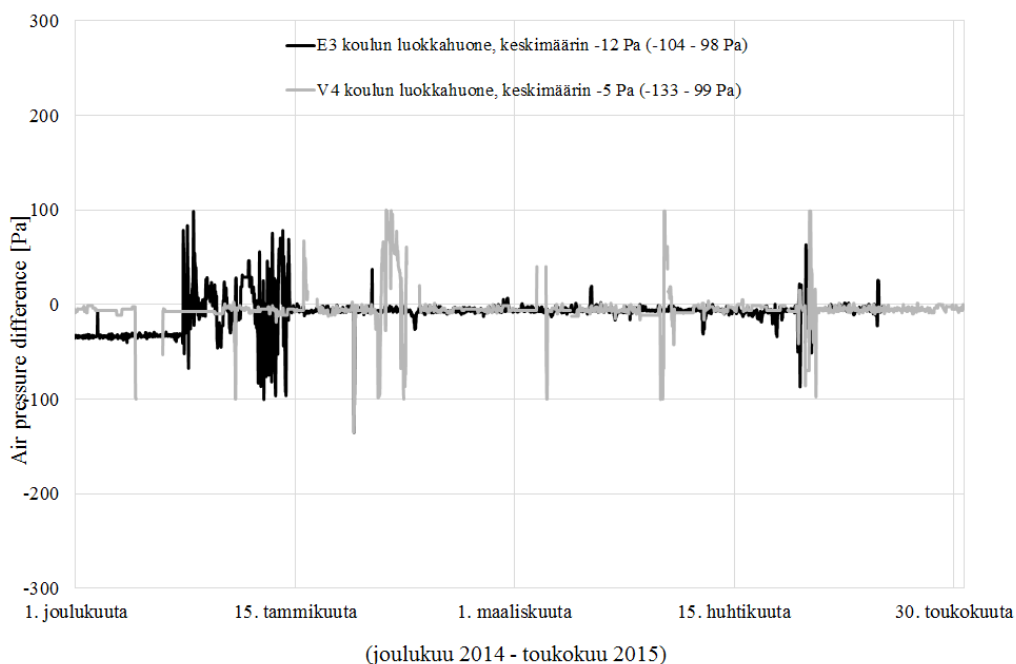
Hiilidioksidipitoisuus (CO₂) elinkaarikoulujen luokkahuoneissa oli keskimäärin 570 ppm (480–710 ppm) ja vertailukouluissa 540 ppm (490–630 ppm) koulupäivinä klo 8–16 (liite 2, taulukot 1 ja 2). CO₂-pitoisuus elinkaarikoulujen liikuntasaleissa oli keskimäärin 480 ppm (420–510 ppm) ja vertailukouluissa 460 ppm (440–470 ppm). CO₂-pitoisuuden maksimiarvo oli 2400 ppm elinkaarikoulujen luokkahuoneessa ja 1830 ppm vertailukoulujen luokkahuoneessa. Kuva 5 esittää tyypillistä CO₂-pitoisuuden vaihtelua koulujen yksittäisissä luokkahuoneissa talvella 2014–2015 ja keväällä 2015.



Kuva 5. CO₂ pitoisuudenvaihtelu elinkaarikoulun E3 ja vertailukoulun V4 luokkahuoneissa joulukuun 2014 ja toukokuun 2015 aikana. Osa mittaustuloksista puuttuu koulusta V4. Pulpettien/oppilaiden määrä oli

elinkaarikoulun luokkahuoneessa 29 ja vertailukoulun luokkahuoneessa 25.

Mittausjaksojen aikana paine-ero luokkahuoneen ja ulkoilman välillä oli elinkaari-kouluissa keskimäärin -5 Pa (-12–0 Pa) ja vertailukouluissa -21 Pa (-52–-6 Pa). Paine-erojen maksimiavot ylittivät -100 Pa muiden koulujen luokkahuoneissa paitsi elinkaarikouluissa E1 ja E2. Kuva 6 esittää paine-eron vaihtelua elinkaarikoulun E3 ja vertailukoulun V4 luokkahuoneissa talvella 2014–2015 ja keväällä 2015. Paine-eron vaihtelu vertailukoulun V3 ilmanvaihtokanavistossa ja luokkahuoneessa on esitetty kuvassa 26.



Kuva 6. Paine-eron vaihtelu elinkaarikoulun E3 ja vertailukoulun V4 luokkahuoneen ja ulkoilman välillä

joulukuun 2014 ja toukokuun 2015 välillä. Osa mittausdatasta puuttuu kouluista.

4.3 Äänitaso luokkahuoneissa

Mittausten perusteella maksimi äänitasot luokissa vaihtelivat tyypillisellä kouluviikolla koulujen E3 ja E5 luokissa noin 60–73 dB välillä ja koulussa V5 noin 55–75 dB välillä. Esimerkki äänitason vaihtelusta koulun E5 luokassa on esitetty kuvaajassa 7.



Kuva 7. Äänitason vaihtelu tyypillisellä kouluviikolla E5 koulun luokkahuoneessa.

4.4 Kemialliset epäpuhtaudet

Ammoniakki

Ammoniakkipitoisuudet on esitetty taulukossa 7. Kaikissa kouluissa ammoniakkipitoisuus vaihteli 2,3-29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, elinkaarikouluissa pitoisuudet olivat välillä 5,2-23,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vertailukouluissa pitoisuudet olivat 2,3-29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Keskimääräinen ammoniakkipitoisuus elinkaarikouluissa oli 12,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vertailukouluissa 10,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Taulukko 7. Kouluissa mitatut ammoniakkipitoisuudet.

Koulu	Pitoisuus, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		
	Luokka 1	Luokka 2	Opettajien huone
E1	13,4	6,8	5,2
E2	12,4	11,1	12,1
E3	23,8	18,2	8,1
E4	11,9	7,8	6,2
E5	10,8	10,4	11,6
E6	16,7	23,0	19,7
V1	12,8	29,6	19,8
V2	4,8	5,3	2,3
V3	12,5	10,8	8,2
V4	10,8	13,1	13,1
V5	10,5	4,7	9,5
V6	11,1	10,0	5,4

VOC-yhdisteet

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) on esitetty taulukossa 8. Merkittävimpien yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet on esitetty liitteessä 3 (taulukot 1 ja 2). Päivällä TVOC-pitoisuus vaihteli kouluissa 13-348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elinkaarikouluissa TVOC-pitoisuus oli 20-348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vertailukouluissa 13-291 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Lähes kaikissa kouluissa mitattiin pieninä pitoisuuksina bentsaldehydia, dekanaalia, heksanaalia, nonanaalia, tolueenia, ksyleeniä, alfa-pineeniä ja bentsoehappoa. Vallitsevia yhdisteitä olivat dekametyylisyklopentasiloksaani (D5) (max 260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja limoneeni (max 187 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), jotka olivat todennäköisesti peräisin hygieniatuotteista ja siivousaineista.



Yöaikaan TVOC-pitoisuus oli 29-644 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (taulukko 8). Elinkaarikouluissa yöaikainen TVOC-pitoisuus vaihteli 51-644 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vertailukouluissa 29-119 mg/m^3 . Koulussa E3 mitattiin selkeästi korkeampia yöaikaisia pitoisuuksia, TVOC-pitoisuuden ollessa 311 ja 644 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Koulun E6 opettajanhuoneessa mitattiin myös huomattavan korkea TVOC-pitoisuus (326 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet yöllä olivat matalia, paitsi koulussa E3, jossa mitattiin muita kouluja korkeampia pitoisuuksia terpeeneille (esim. α -pineeni 45-71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja 3-kareeni 23-40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sekä hapoille (n-heksadekaanihappo 127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tetradekaanihappo 82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja dodekaanihappo 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Koulun E6 korkea TVOC-pitoisuus selittyi muovimaton hajoamisen johdosta emittoituvista yhdisteistä (mm. 2-etyyli-1-heksanolista, 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Yöaikaiset VOC-pitoisuudet koulussa V2, jossa ilmanvaihto oli päällä yölläkin, eivät eronneet muiden koulujen yöaikaisista VOC-pitoisuuksista.

Taulukko 8. TVOC-pitoisuudet kouluissa. Päivällä kustakin tilasta kerättiin 3-4 näytettä ja yöllä 1 näyte.

Koulu	Pitoisuus, $\mu\text{g}/\text{m}^3$		Pitoisuus yöllä, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	
	Luokka-huoneet	Opettajien huone	Luokkahuone	Opettajien huone
E1	35-91	54-58	127	55
E2	29-200	96-150	51	85
E3	82-348	30-48	644	311
E4	20-88	44-171	59	82
E5	22-31	34-142	70	100
E6	34-42	99-116	94	326
V1	27-298	15-33	32	30
V2	37-78	50-70	33	45
V3	24-89	30-291	-	34
V4	37-154	42-102	35	59
V5	13-106	29-37	29	119
V6	13-35	31-155	76	47

- ei mitattu.

Aldehydi- ja ketoniyhdisteet

Aldehydi- ja ketoniyhdisteiden pitoisuudet olivat melko alhaisia elinkaarikouluissa ja vertailukouluissa (Taulukot 9 ja 10). Suurimpina pitoisuuksina mitattiin formaldehydiä ja asetonia. Kaikkien yhdisteiden osalta keskimääräiset pitoisuudet olivat hieman suurempia elinkaarikouluissa kuin vertailukouluissa. Suurin ero oli asetonin pitoisuuksissa. Yhdisteiden vaihteluväli elinkaarikouluissa ja vertailukouluissa oli kuitenkin samaa luokkaa (taulukko 10). Akroleiinia ei havaittu missään näytteessä.

Taulukko 9. Keskimääräiset aldehydi- ja ketoniyhdisteiden pitoisuudet elinkaarikouluissa ja vertailukouluissa.

Yhdiste	Keskiarvo kaikissa kouluissa	Keskiarvo elinkaarikouluissa	Keskiarvo vertailukouluissa
formaldehydi	3,6	3,9	3,2
asetaldehydi	2,3	2,6	2,0
asetoni	6,7	7,5	6,0
propanaali	0,7	0,7	0,6
butanoni	0,5	0,7	0,3
butanaali	0,4	0,5	0,4
pentanaali	0,4	0,5	0,4



Taulukko 10. Aldehydi- ja ketoniyhdisteiden pitoisuusvaihtelu elinkaari- ja vertailukouluissa.

Yhdiste	Pitoisuus päivällä, µg/m ³		Pitoisuus yöllä, µg/m ³	
	Luokka-huoneet	Opettajien huoneet	Luokka-huoneet	Opettajien huoneet
ELINKAARIKOULUT				
formaldehydi	1,3-3,1	1,3-4,2	2,8-12,0	2,7-7,0
asetaldehydi	nd-2,1	0,7-2,2	1,6-7,7	2,2-5,2
akroleiini	nd	nd	nd	nd
asetoni	5,3-11,4	3,5-9,4	3,4-12,3	4,5-11,3
propanaali	nd-2,2	nd-1,3	nd-2,6	0,5-0,8
butanoni	nd-0,6	nd-0,7	nd-1,0	0,3-12,6
butanaali	nd-0,7	nd	nd-2,2	0,5-1,3
pentanaali	nd-0,9	nd	0,5-2,3	0,9-1,5
VERTAILUKOULUT				
formaldehydi	1,8-2,8	1,5-3,1	1,3-7,8	2,5-10,0
asetaldehydi	nd-1,5	1,4-2,9	0,7-4,0	1,3-6,9
akroleiini	nd	nd	nd	nd
asetoni	4,3-9,9	4,0-8,7	2,5-7,7	3,0-9,2
propanaali	nd-2,6	nd-2,2	nd-1,4	nd-1,1
butanoni	nd-0,8	nd-0,4	nd-1,7	nd-1,4
butanaali	nd-1,5	nd-1,0	0,3-1,3	nd-0,9
pentanaali	nd-0,5	nd-1,5	0,2-1,2	0,4-0,6

nd = ei havaittu.



4.5 Siivouksen laatu ja siivottavuus

Siivouksen laadun mittaukset pintapölymittarilla taulukoitiin kouluittain ja tiloittain ja niistä laskettiin pintakategorioittain keskiarvot.

Taulukko 11. BM Dustdetektorilla mitattujen pintapölyjen keskiarvot pintakategorioittain.

Koulu	Kehoa lähellä olevat pinnat	Huonekalut ja kiintokalusteet		Kovat lattiat	
		A ²	NA ³	A	NA
	(1 %) ¹	(1,5 %) ¹	(5 %) ¹	(3 %) ¹	(5 %) ¹
V1	0,2	0,6	3,3	3,3	1,9
V2	1,0	2,3	14,8	3,3	3,2
V3	2,0	2,8	15,9	2,6	2,1
V4	1,3	1,5	nd	4,7	3,2
V5	0,6	0,8	6,3	1,9	1,6
V6	0,8	0,5	3,4	1,1	0,9
E1	0,7	0,7	7,7	1,6	2,0
E2	0,9	1,2	6,8	2,1	4,3
E3	1,1	1,8	7,3	4,2	1,9
E4	1,4	1,4	8,2	1,8	3,2
E5	1,4	1,7	6,2	1,5	1,7
E6	1,6	2,1	6,7	1,5	2,0

¹=INSTA 800 standardin määrittelemän sisäilmatason (4) sallima pölyisyys % pintaluokittain A²=helposti tavoitettava pinta. NA³=Vaikeasti tavoitettava pinta. nd=pinta ei ollut saavutettavissa, ei mitattu.

Tilojen siivottavuus vaihteli runsaasti, jopa saman koulun tilojen kesken. Joissakin luokissa ei ollut mitään ylimääräistä, kun taas toinen tila saattoi olla täynnä tavaraa. Luokissa oli mm. ylimääräisiä mattoja, huonekaluja ja halkoja.

4.6 Energia ja vedenkulutus

Vuonna 2014 sähköenergiankulutus (rakennuksen tilavuutta kohti) oli elinkaarikouluissa 13,2 kWh/a m³ (10,8–16,1 kWh/a m³), kaukolämmön kulutus 30,8 kWh/a m³ (12,9–64,6 kWh/a m³) ja vedenkulutus 61,6 dm³/a m³ (50,2–76,0 dm³/a m³). Vertailukouluissa sähköenergian kulutus oli 14,5 kWh/a m³ (9,4–19,7 kWh/a m³), kaukolämmön kulutus 27,6 kWh/a m³ (15,7–42,5 kWh/a m³), ja vedenkulutus 53,6 dm³/a m³ (44,0–68,1 dm³/a m³). Taulukossa 12 on esitetty elinkaari- ja vertailukoulujen energian ja vedenkulutukset vuosina 2013 ja 2014 (katso myös taulukko 22).

Taulukko 12. Koulujen toteutunut energiankulutus vuosina 2013 ja 2014.

Energian- ja veden kulutus	Sähkö [kWh/a m³]		Kaukolämpö [kWh/a m³]		Vesi ^a [dm³/a m³]		Energiatehok- kuusluokka (A ₂₀₀₇ –G ₂₀₀₇) ^b
Vuosi	2013	2014	2013	2014	2013	2014	
E1	16,7	16,1	38,1	37,6	129,6	66,1	A ₂₀₀₇
E2	12,2	14,6	66,3	64,6	66,3	65,4	G ₂₀₀₇ ^c
E3	– ^d	14,7	– ^d	12,9	– ^d	54,1	E ₂₀₀₇
E4	11,5	11,2	21,9	21,8	49,5	50,2	B ₂₀₀₇
E5	12,3	11,9	30,7	27,1	52,6	57,5	C ₂₀₀₇
E6	11,0	10,8	21,4	20,8	66,0	76,0	B ₂₀₀₇
V1	9,3	9,4	28,2	27,8	44,0	47,1	B ₂₀₀₇
V2	15,2	16,8	24,7	26,0	66,6	62,7	C ₂₀₀₇
V3	17,2	18,9	14,7	15,7	48,5	53,6	A ₂₀₀₇
V4	11,4	11,3	31,3	30,2	35,4	45,9	E ₂₀₀₇
V5	19,9	19,7	46,1	42,5	81,4	68,1	– ^f
V6	11,1	10,8	23,4	23,4	48,6	44,0	– ^f
Suomen koulut ^e	14,5	14,5	43,9	43,9	76,0	76,0	
E/Suomenkoulut	0,9	0,9	0,8	0,7	1,0	0,8	
V/Suomen koulut	1,0	1,0	0,6	0,6	0,7	0,7	

^a Sisältää kylmän ja lämpimän käyttöveden käytön

^b Koulujen energiatodistus perustuu vanhaan energiatodistustakiin (FINLEX 2007)

^c Koulun energiatodistus oli laadittu puutteellisin tiedoin Tietoa ei ollut käytettävissä

^e Motivan raportit energian ja vedenkulutuksen mediaaniarvot suomalaisissa opetusrakennuksissa (MOTIVA 2016)

^f Ei ole teetetty, koska vuosina 2006/2007 ei vaadittu energiatodistuksia rakennusluvan yhteydessä.

Vuosina 2013 ja 2014 keskimääräinen energiankulutus oli elinkaarikouluissa 0,7–1,0 ja vertailukouluissa 0,6–1,0 verrattuna Motivan raportoimaan (Motiva 2016) kulutukseen nähden. Elinkaarikoulujen energiatehokkuusluokka vaihteli $A_{2007} - G_{2007}$ ja vertailukouluissa $A_{2007} - E_{2007}$. Energiatehokkuusluokan alaviite 2007 viittaa vanhan energiatodistuksen mukaiseen luokitukseen (FINLEX 2007).

4.7 Rakennustekniset katselmukset

Rakennusteknisissä katselmuksissa tehtiin poikkeavia havaintoja mm.

- hajuista
- rakenteiden pinnoilla olevasta kosteudesta
- erilaisten rakenteellisten läpivientien epätiiviydestä
- mineraalivillakuitulähteistä
- vanhoista rakenteista sijaitsevista kanaaleista ja niissä vaurioituneista materiaaleista
- irtovedestä huolto- ja kellaritiloissa
- alakattorakenteiden ja koteloiden pölyistä (rakennusaikaista)
- vesikaton pinnoitteiden vaurioista ja vedenohjauksen toimimattomuudesta
- vanhojen rakennusten tyypillisistä riskirakenteista
- ryömintätilojen kosteus- ja lämpötekniistä puutteista
- rakenteiden ilmatiiviyden parantamiseen liittyvien tiivistyskorjausten laadussa, laadunvarmistusmenetelmissä ja tai materiaalivalinnoissa.

Seuraavaan luetteloon on kerätty kohdekohtaisesti tietoja rakennusten rakenteista ja merkittävimmistä tehdyistä havainnoista asiakirjojen sekä kohteessa tehtyjen katselmusten perusteella.

E1

Rakennuksen alkuperäiset osat ovat valmistuneet noin vuonna 1954. Rakennuksen peruskorjauksen (2010-11) yhteydessä on rakennettu laajennusosa.

Rakennuksen kantavana rakenteena alkuperäisellä osalla on massiivitiiliseinät ja uudisosalla teräsbetoniseinät. Rakennuksen alkuperäiset väli- ja yläpohjat ovat teräsbetonilaattoja ja uudisosalla ontelolaattoja. Julkisivu on puhtaaksi muurattua punatiiltä, joka on rapattu ja maalattu. Ikkunapalkit ja pilarit ovat teräsbetonia. Uudisosalla rakennuksen palkit ovat liittopalkkeja. Rakennuksen alkuperäisessä osassa alapohjarakenne on uusittu maanvarainen betonilaatta ja uudisosalla on kantava-alapohjara-

kenne. Uudisosan perustukset ovat paalutettuja. Perustamistapaselvityksen mukaan rakennusalueella kallion pinta on lähellä maanpintaa.

Tehdyt havainnot:

- kellarissa havaittiin laajoja vesivahinkoja ja irtovettä lattiapinnoilla (kuva 8)
- kellarin vaurioituneista tiloista on ilmayhteys talotekniikan kanaalin kautta rakennuksen muihin kerroksiin
- yläpohjassa on alkuperäinen palopermantorakenne, jonka materiaalien kunnon tutkimuksista ei löydy tietoa asiakirjoista
- kellarikerroksen ikkunoiden alaosat ovat maanpinnan tasossa.



Kuva 8. Kellarissa teknisen tilan lattialla havaittiin irtovettä ja tilasta pystykuilu seuraavan kerroksen luokkaan.

E2

Rakennuksen alkuperäinen osa on valmistunut vuonna 1958. Rakennuksen peruskorjauksen (2010-11) yhteydessä on rakennettu laajennusosa.

Rakennuksen peruskorjatun osan runkorakenne on paikalla valettu teräsbetoni ja uudisrakennuksen runko pääosin elementti. Rakennuksen päätyseinät ovat betonisandwich- elementtejä ja pitkien sivujen nauhaelementit pääosin puurankaisia elementtiseiniä. Välipohjat ovat peruskorjatulla osalla paikallavalettuja teräsbetoni-laattoja ja uudisosalla kantavia ontelolaattavälipohjia.

Tehdyt havainnot:

- peruskorjatun rakennuksen julkisivurakenne on alkuperäinen (rakenteiden ja materiaalien kunnon tutkimuksista ei ole tietoa asiakirjoissa eikä korjaussuunniteluasiakirjoissa)
- rakenteiden ilmatiiviyden parantamiseen liittyviä korjauksia ei ole tehty asiakirjojen perusteella
- tiloissa havaittiin voimakas viemäriperäinen haju.

E3

Rakennus on valmistunut vuonna 1976 ja se on peruskorjattu vuonna 2012-2013.

Rakennuksen runkorakenteen muodostavat teräsbetonipilarit ja kantavat teräsbetoniseinät. Ensimmäisen kerroksen kattorakenne on paikalla valettu teräsbetonipalkisto ja toisen kerroksen katto jännebetonipalkkien varaan asennettu TT- laatasto. Liikuntasali, ruokala ja auditorion kohdalla kantava rakenne on liimapuupalkisto ja sen varaan asennetut teräspoimulevyt. Välipohjat ovat teräsbetonilaattoja ja alapohjat pääasiassa alkuperäisiä maanvaraisia teräsbetonilaattoja (pois lukien märkätilojen uusitut maanvaraiset alapohjalaatat). Ulkoseinät ovat ulkokuoreltaan ja lämmöneristeeltään uusittuja betonisandwich- elementtejä ja nauhaikkunaseinät ovat ulkokuoreltaan ja lämmöneristeiltään uusittuja puurunkoisia kevytelementtejä.

Tehdyt havainnot:

- liikuntasalissa aistittiin voimakas tunnistamaton haju
- rakennuksen maanvaraisen alapohjalaatan yläpinta on lähellä maanpintaa
- tehdyn täyttömaan kapillaarisuus ja rakeisuusselvityksen mukaan täyttömaa on sekarakkeista ja siinä on hienoaineista, joka mahdollistaa kapillaarisen kosteuden nousun
- maanvaraisen alapohjalaatan kosteutta todettiin yksittäisessä varastotilassa
- rakennuksen toisessa ryömintätilassa aistittiin kostea ja lämmin ilma sekä mikrobiepäpuhtauksiin viittaava haju sekä ryömintätilan pohjalla oli pintamaana hienojakoista ja kosteaa hiekkaa sekä savea
- rakennuksen toisessa ryömintätilassa aistittiin voimakas ammoniakkiin viittaava haju ja tilan ilma aistittiin kosteaksi ja lämpimäksi
- ryömintätilan pintamaana on hienojakoista hiekkaa, joka oli havaintojen perusteella märkää. Tilan ilmvaihdosta ei saatu varmuutta katselmuksen aikana.

E4

Rakennus on valmistunut vuonna 1971. Rakennuksen peruskorjaus ja uudisosa on valmistunut vuonna 2012-2013.

Rakennus muodostuu kahdesta alkuperäisestä rakennusosasta A ja B sekä uudisosasta C. Rakennuksen A-, B ja C- osa ovat kaksikerroksisia ja A- ja C- osassa on kellarikerros.

Rakennuspaikka on kalliolla. Perustukset ovat paikalla valettuja, maanvaraisia teräsbetonianturoita. Rakennuksen kantava runko on vanhalla osalla paikalla valettu betoni. Uudisosan runko on paikallavalettu. Ulko- ja väliseinät ovat kantavia paikalla valettuja seiniä. Ulkoseinärakenteissa on sisäverhouspintana vanha kahititiilivuoraus. Ulkoseinät on uusittu sisäverhouspintaan asti. Pohjakerroksen kattolaatat ovat paikallavalettuja teräsbetoni-laattoja. Runkojärjestelmä on pääosin pilari-palkkijärjestelmä. Palkit ovat pääasiassa teräksisiä delta-palkkeja ja pilarit teräsbetonia. Välipohjat ovat paikalla valettuja teräsbetoni-laattoja ja alapohjarakenne on maanvarainen teräsbetoni-laatta. Talotekniikkakanaali kulkee rakennuksen A- osan alla kokonaisuudessaan johtuen aina rakennuksen B- ja C- osaan asti.

Tehdyt havainnot:

- rakennuksesta ei ollut käytettävissä ennen peruskorjausta mahdollisesti tehtyjen kuntotutkimusten tietoja
- alas lasketun katon asennustilassa havaittiin runsaasti pölyä
- talotekniikkakanaalissa aistittiin voimakas mikrobiperäinen haju ja ilma lämpimäksi sekä kosteaksi
- talotekniikkakanaalissa sijaitsee vanhoja talotekniikan tarkastusluukkuja kanaalin alapuolelle, joissa havaittiin runsaasti rakennusjätettä ja orgaanista hajonnutta materiaalia
- talotekniikkakanaalin mikrobiperäinen haju aistittiin myös pohjakerroksen käytävillä teknisten tilojen, siivoustilojen ja valvomotilojen läheisyydessä
- talotekniikkakanaalissa havaittiin useita katkaistuja vanhoja putkia, joita ei ollut tulpattu umpeen (kuva 9).



Kuva 9. Talotekniikkakanaalissa havaittiin useita vanhoja talotekniikan putkia, joita ei ollut tulpattu umpeen.

E5

Rakennus on rakennettu vuonna 2011 ja se on kaksikerroksinen. Rakennuksessa kantavina pystyrakenteina ovat pääosin teräsbetoniset sisäkuorielementit, teräsbetonipilarit sekä paikalla valetut kantavat teräsbetoniseinät. Kantavina vaakarakenteina ovat ontelolaatat ja palkkirakenteet. Liikuntasalissa kantavana vaakarakenteena on TT-laa-tasto ja pystyrakenteena paikalla valettu teräsbetoniseinä sekä pilarit. Rakennuksessa on paalu-perustus.

Julkisivuna on sementtilevy- ja lasijulkisivuverhousta. Pääoven kohdalla julkisivuna on vaneriverhous. Sokkelirakenteena on betonisandwich-elementti. Maanvaraisena lat-tiarakenteena on teräsbetonilaatta.

Tehdyt havainnot:

- talotekniikkahormin yläpohjan ilmanvaihtokanavien läpiviennit eivät ole tiiviitä (kuva 10)
- kattovesiviemäröintiläpiviennin koteloinnin tarkastusluukun kautta tuli vuotoil-maa opetustiloihin
- rakenteiden välisissä liikuntasaumoissa havaittiin epätiiviyttä ja sauman kautta tuli vuotoilmaa alakattotilojen asennustilaan luokassa (kuva 11).



Kuvat 10 ja 11. Talotekniikkakanaalissa olevien putkien läpiviennit rakenteiden läpi eivät ole tiiviitä ja kanaalista tuli vuotoilmaa kanaalin tarkastusluukun liitoksien kautta opetustilaan.

E6

Rakennus on rakennettu vuonna 1971 ja peruskorjattu ja laajennettu vuonna 2012. Rakennuksen kantavana runkona on teräsbetoninen pilari-palkki-runko. Välipohjarakenteena ovat teräsbetonilaatat ja yläpohjan kantavina vaakarakenteena on siporex-laatat ja teräsbetonipalkit. Liikuntasalin yläpohjan kantavana vaakarakenteena on I-teräsbetonipalkit, joiden päällä on siporex-laatat. Ulkoseinärakenteena on pääosin tuulettumaton tiili-villa-tiili-rakenne. Vuoden 2012 peruskorjauksessa ulkoseinärakenteen tiili-villa-tiili-rakenne on korjattu tiivistämällä rakenneliitoksia sekä uusimalla ikkunarakenteen yläpuolisen ulkoseinän eristekerros sisältä päin. Pilarin takana oleva ulkoseinärakenteen eristekerros ikkunarivin kohdalta on uusittu ja rakenneliitokset on tiivistetty Ardex:n vedeneristysjärjestelmällä. Ikkunarakenteiden ja ulkoseinärakenteiden rakenneliitokset on tiivistetty Ardex:n tarranauhalla ja veden-eristysmenetelmällä. Sokkelihalkaisussa on mineraalivillaaeristys sekä vanha muottilaudoitus. Sokkelihalkaisuun on peruskorjauksessa tehty alipaineistus ja ulkoseinän ja lattiarakenteen rakenneliitos on tiivistetty Ardex- sisäilmakorjausjärjestelmän mukaisesti. Vanha maanvarainen kaksoislaattarakenne on purettu alalaatan yläpinnan tasoon asti ja laatan päälle on tehty uusi rakenne. Maanvaraisen lattiarakenteen ja ulkoseinän rakenneliittymä on tiivistetty vedeneristysmenetelmällä.

Tehdyt havainnot:

- peruskorjausten yhteydessä on tehty kuntotutkimuksia, joissa on tutkittu rakenteiden kuntoa rakenneavausten kautta avaamalla peruskorjaushankkeen urakka-alueeseen kuuluvilla alueilla
- kuntotutkimusten perusteella rakenteille on esitetty pääsääntöisesti kolme erita-soista korjausvaihtoehtoa
- kuntotutkimuksissa ei ole selvitetty rakenteiden eristekerrosten mikrobiologista kuntoa materiaalinäytteillä korjausvaihtoehtojen valinnan tueksi
- havaintojen perusteella seinä- ja lattiarakenteiden tiivistystä ei ole tehty pystyhormien kohdalla
- maanvastaisen seinän ja maanvaraisen lattiarakenteen rakenneliitoksessa oleva vahvikenauha oli paikoittain irti ja huonosti kiinnitetty tai puuttui kokonaan (kuva 13)
- talotekniikkahormin koteloinnin sisällä on rakennusjätettä
- pohjakerroksen seinärakenne on osittain maanpinnan alapuolella ja osa maanvastaisesta seinärakenteesta on betoni-villa-tiilirakenteista

- maanvastaisena seinä rakenteena on betoni-villa-betoni-rakennetta, jossa sisäpinnan tiiliverhous on maalattu
- teknisestä tilasta havaittiin ilmayhteys henkilökunnan taukotilan alakaton asennustilaan
- yläpohjan läpi havaittiin epätiiviyttä talotekniikan läpivientejä ja tarkastusluukku, joista tuli korvausilmaa sisätiloihin (kuva 12)
- liikuntasali ei ole kuulunut peruskorjausurakkaan ja rakenteita ei ole tutkittu peruskorjausta edeltävissä kuntotutkimuksissa.



Kuvat 12 ja 13. Käytävän yläpohjarakenteessa on tiivistämätön läpivienti yläpohjaonteloon. Maanvastaisen seinän ja maanvaraisen lattiarakenteen rakenneliitoksessa olevassa tiivistyksessä oli epätiiviyyskohtia.

V1

Rakennuksen alkuperäinen osa on rakennettu noin vuonna 1969 ja se on kaksikerroksinen. Rakennuksen peruskorjauksen (2010) yhteydessä on rakennettu uudisosa, joka on kolmekerroksinen.

Rakennuksen vanha ja uusi osa on perustettu kalliolle. Rakennuksen alkuperäisellä osalla kantava runko on paikalla valettu ja rakenteena ovat pilari- palkkijärjestelmä ja kantavat teräsbetoniseinät. Uudisosan runko on osittain paikallavalettu ja osittain betonielementtirunko, jossa on liittopilarit ja palkit sekä paikalla muurattu tiiliverhous. Rakennuksen alkuperäiset väli- ja yläpohjat ovat teräsbetonilaattoja ja uudisosalla ontelolaattoja. Julkisivu on muurattua ruskeaa tiiltä ja nauhaikkunoiden välissä on puurankaiset peltiverhoillut ulkoseinärakenteet. Vanhat julkisivupinnat on pintakorjattu peruskorjauksen yhteydessä ja uudisosalla on käytetty betonikuorielementtiä. Molemmissa rakennuksen osissa on lasiseinä. Vanhat julkisivuseinät, jotka on jätetty sisäseiniksi, on purettu ja uusittu lämmöneristeitä myöden. Liikuntasalin kattorakenne on paikalla jännitetty teräsbetoninen laattapalkisto ja katto on ulkopuolelta liikennöity. Uudisosan kellarikerroksessa on huoltotunneli, joka on louhittu kalliosta ja kellariseinän väliin.

Tehdyt havainnot:

- alkuperäisestä rakennuksesta ei ollut saatavilla kuntotutkimustietoja
- alkuperäisessä rakennuksessa havaittiin aikakaudelle tyypillisiä riskirakenteita
- alkuperäisten rakenteiden materiaalien mikrobiologinen kunto on todentamatta
- rakennuksessa on huoltotunneli, jonka kallio- ja lattiapinnoilla havaittiin irtovettä runsaasti (kuvat 14 ja 15)
- huoltotunnelissa aistittiin mikrobiperäinen haju, joka levisi muihin tiloihin
- hajuhavaintoja käytävässä (mikrobiperäinen ja alkuperä oletettavasti huoltotunnelista) ja luokkatiloissa (muu tunnistamaton haju)
- ulkoikkunoiden sisäpinnat hikoilivat runsaasti (pinnoilla myös tiivistynyttä vettä) tarkastuskäynnillä (talvi).



Kuvat 14 ja 15. Huoltotunnelin maanpinnalla oli irtovettä ja kallioseinäpinnoilla havaittiin valumavesiä.

V2

Rakennus on valmistunut 2010 ja se koostuu kahdesta rakennuksen osasta ja kolmesta rakennuksen siivestä. Rakennus on kolmikerroksinen ja alin kerros on osittain maanpinnan alapuolella.

Rakennuksen anturat, perusmuurit, peruspilarit ja -palkit ovat paikallavalettuja teräsbetonirakenteita. Sokkelin kuori on elementtirakenteinen. Rakennuksen alapohja on kantava alapohjarakenne, joka tukeutuu teräsbetonipaaluille ja paaluanturoille. Ensimmäisen kerroksen lattian alla sekä yhden rakennuksen siiven toisen kerroksen lattian alla on LVIS- tekniikkakanaali. Rakennuksen runko on paikalla valettua teräsbetonia ja kantavat teräspilarit ovat betonitäytteisiä. Välipohjien kantavat palkit ovat teräspalkkeja ja välipohjarakenteet ovat pääsääntöisesti ontelolaattoja. Rakennus on jäykistetty levyseinillä ja hissi- sekä porraskuiluilla. Julkisivuseinä on teräsbetoniseinä, jossa on ulkopinnan rakenteena pääasiassa tiilimuuraus.

Tehdyt havainnot:

- katossa korjaamaton vesivahinko (myös sisätilojen sisäpinnoilla ja rakennekerroksissa)
- vesikaton pintamateriaalien kiinnitykset olivat paikoin irronneet (kuvat 16 ja 17).



Kuvat 16 ja 17. Pintakermin saumauksissa havaittiin hammastusta ja liimauksen irtoamista.

V3

Rakennus on valmistunut 2010 ja siinä on rakennuksen osat A-E. Rakennus on kolmi-kerroksinen ja alin kerros on osittain maanpinnan alapuolella.

Rakennuksen anturat, perusmuurit, peruspilarit ja -palkit sekä sokkelit ovat paikalla-valettuja teräsbetonirakenteita. Rakennuksen osissa A-D on maanvarainen alapohja. Rakennuksen osassa E on kantava elementtirakenteinen ryömintätilallinen alapohja (ontelolaatat), joka tukeutuu teräsbetonipaaluille ja paaluanturoille. Alapohjan ryömintätilaan on tarkastusluukkuja.

Kantavat ja jäykistävät ulko- ja väliseinät on tehty teräsbetonista paikalla valaen ja seinät kannattelevat välipohjan ontelolaatastoja. Laatastot tukeutuvat seinille myös teräs- ja teräsbetonikonsolien avulla. Kantavat pilarit ovat pääasiassa betonitäytteisiä teräspilareita ja lasiseiniin liittyvät pilarit ovat terästä.

Julkisivut ovat pääosin teräsbetoniseiniä, joissa julkisivupintana on tiili. Rakennus on monimuotoinen ja muun muassa ulkoseinän rakennetyyppejä on yli 18 erilaista.

Tehdyt havainnot:

- väestönsuojan seinässä havaittiin poikkeavaa kosteutta ja käytävässä mikrobipe-räinen haju (tilasta yhteys mm. käytäviin ja auloihin)
- alakattojen takana oli runsaasti rakennusaikaista pölyä ja pinnoittamatonta mi-neraalivillaa (kuva 18)
- sähköläpivientien asennukset eivät ole toteutettu kaikin osin suunnitelma-asia-kirjojen mukaan (putkien päiden tiivistys puuttuu)
- yhdessä luokkatilassa tehtiin satunnainen lämpökamerahavainto, jossa luokkatilan varaston tarkastusluukun ympäristössä sisäpintojen lämpötila oli poikkeava (+5 °C).



Kuva 18. Alakattojen takana mm. talotekniikan putkien pinnoilla havaittiin runsaasti rakennusaikaista pölyä.

V4

Alkuperäinen rakennus on valmistunut vuonna 1970 ja sen peruskorjaus sekä uudisosan rakennus on valmistunut 2010. Rakennuksen peruskorjattu osa on kaksikerroksinen ja uudisosa on kolmikerroksisen ja osittain kellarillinen. Rakennuksessa on osat (siivet) 1-6.

Laajennuksen anturat ja perusmuurit ovat paikalla valettuja teräsbetonianturoita. Peruskorjatun osan runko on paikalla valettu teräsbetoninen pilari-palkki-laattarakenteinen. Peruskorjatun osan ulkoseinärakenne on tiilipintainen teräsbetoni ja pitkillä nauhaikkunaseinillä on ei-kantava kevyt seinärakenne. Peruskorjauksen yhteydessä on ulkoseinän tiilimuuraus ja eriste purettu sekä uusittu. Väliseinät ovat pääosin kahitiilimuurattuja. Uudisosan runkojärjestelmä on pilari-palkki-ontelolaattarakenteinen ja hissikuilu sekä teräsbetoniseinät ovat elementtirakenteisia kellaritilojen katosta ylöspäin. Uudisosan alapohjat ovat kantavia laattoja ja peruskorjattavan osan alapohjat ovat maanvaraisia ja osittain peruskorjauksessa uusittuja märkätilojen ja liikuntasalin kohdalla. Peruskorjattavalla osalla on ryömintätiloja ja talotekniikan kanaali. Uudisosalla on uusi talotekniikkakanaali, joka on yhdistetty peruskorjattavan osan kanaaliin. Peruskorjattavan osan kattorakenteet eristeineen on uusittu. Kattorakenne on koko rakennuksessa tasakatto. Peruskorjattavan osan ei- kantavien seinärakenteiden liitokset ja maanvaraisen lattialaatan liitoksien ilmavuotoreittejä on selvitetty ennen peruskorjausta. Selvityksissä on suositeltu rakenteiden tiivistämistä vedeneristysmateriaalein. Tiivistäminen on suunniteltu tehtäväksi peruskorjauksen yhteydessä vedeneristysmateriaaleilla.

Tehdyt havainnot:

- peruskorjauksen yhteydessä on tutkittu tiettyjen rakenteiden ilmatiiviyttä ja tehty ilmatiiviyden parantaminen osaan rakenneliitoksia tiivistyskorjauksin (asiakirjoista ei käy ilmi mitä korjauksilla on tavoiteltu)
- rakenteissa havaittiin vanhoja tulppaamattomia talotekniikan putkia (mm. viemäriputket)(kuva 19)
- rakenteissa havaittiin lattia- ja talotekniikan kanaaleja, joissa oli mikrobivaurioituneita materiaaleja sekä voimakas mikrobiperäinen haju
- alakaton asennustilassa ja talotekniikan pystynousuissa havaittiin rakennusai-kaista pölyä, likaa / jätettä ja mineraalivillapaloja (kuva 20)
- vesikatolla vesi lammikoitui muutamilla katto-osuuksilla.



Kuvat 19 ja 20. Uusia ja vanhoja tiivistämättömiä talotekniikan putkia ja niiden läpivientejä vanhassa putkikanaalissa. Alaslaskettujen kattojen asennustilassa oli runsaasti rakennusaikaista pölyä.

V5

Koulukeskukseen kuuluu neljä rakennusta. Rakennukset A, B ja C on rakennettu vuonna 1966. B-rakennuksessa on vuosina 1988 ja 2006 tehty laajennusosat. Rakennuksissa on tehty perusparannus vuosina 2005-2006.

Rakennuksen kantavina pystyrakenteina ovat teräsbetonipilarit sekä rakennuksen keskiosalla oleva paikalla valettu kantava teräsbetoniseinä. Kantavina vaakarakenteina ovat paikalla valetut teräsbetonivälipohjat ja -yläpohjat sekä teräsbetoniset ikkunan ylityspalkit. B-rakennuksen vuonna 1988 tehdyn laajennusosan yläpohjarakenteet ovat osaksi puurakenteisia. Rakennusten A, B ja C ulkoseinärakenteena on tuulettumaton tiili-villa-tiili-rakenne. B-rakennuksen 1988 laajennusosan ulkoseinärakenteena on tiili-villa-tiili-rakennetta. Lisäksi uudemman laajennusosan ulkoseinärakenteena on myös tiili-villa-kipsilevyseiniä. Maanvastaisena seinärakenteena ovat teräsbetoniseinät, jonka sisäpinnassa on kuorimuuraus.

Tehdyt havainnot:

- kellarin maanvastaisessa seinässä havaittiin poikkeavaa kosteutta ja näkyviä kosteusvaurioita (kuva 21)
- kellarin maanvastaisen seinän ja kuorimuurauksen välisen eristetilän kuntoa ei ole selvitetty
- kellarin maanvastaisen rakenteen läpiviennit ovat tiivistämättömiä (kuva 22)
- kellarikerroksessa on mikrobiperäinen haju

- julkisivurakenteiden rakennekerrosten mikrobiologista kuntoa ei ole selvitetty (tuulettumaton tiili-villa-tiilirakenne, jossa on päädytty tiivistyskorjaukseen)
- seinä- ja lattiarakenteiden liitoskohtia on tiivistetty ja sisäseinäpinnat ja niihin liittyvien rakenteiden liitoskohdat tiivistetty (elastinen massa)
- sokkelin eristeet korjattu näkyvien vaurioiden kohdalta
- alkuperäisessä maanvastaisessa alapohjarakenteessa (kaksoislaatta) on todettu eristekerroksessa mikrobivaurioita ja rakenteessa kosteutta, rakenne on korjattu rakenneliitosten tiivistyksellä
- liikuntasalin lattiarakenne on uusittu ja alipaineistettu (rakenteeseen on tullut korvausilmaa rakenneliitosten kautta, joka on aiheuttanut maakellarimaista hajua ruoka- ja liikuntasalissa).



Kuvat 21 ja 22. Rakennuksen kellarin maanvastaiseen seinärakenteeseen vaikuttaa maaperäkosteus ja rakenteessa on tiivistämättömiä läpivientejä.

V6

Rakennus on valmistunut vuonna 2007. Rakennuksessa on kantavina pystyrakenteina pääosin teräsbetoniseinäelementit ja teräsbetonipilarit. Kantavina vaakarakenteina ovat ontelolaatat ja palkkirakenteet. Rakennuksessa on sokkeli- ja pilarianturaperustus.

Julkisivurakenne on suurimmaksi osaksi tiiliverhottu ja rapattu betoniseinä. Sokkelirakenteena on sandwich-elementti. Maanvaraisena lattiarakenteena on teräsbetonilaatta. Välipohjarakenteena on yleisesti ontelolaatta. Koulussa ei ole maanpinnan alapuolista kerrosta.

Tehdyt havainnot:

- sähköpääkeskuksen maanvaraisen laatan läpiviennit ovat tiivistämättömiä (kuva 23)
- sähköpääkeskuksen kerrosten väliset läpiviennit välipohjan läpi ovat tiivistämättömiä (kuva 24)
- ikkuna- ja seinärakenteen liitoskohdissa havaittiin epätiiviyttä
- rakenteiden liikuntasaumamat ovat epätiiviyttä.



Kuvat 23 ja 24. Sähköpääkeskuksen maanvaraisen laatan alapuolelta tulevat läpiviennit ovat tiivistämättömiä samoin kuin kerrosten välissä olevien välipohjien läpivinnit.



4.8 Haastattelut

Elinkaarikoulujen rehtorit antoivat koulujen sisäympäristötekijöille keskiarvoksi arvosanan 8,2 (7,7–8,8). Huonelämpötila sai rehtoreilta keskimäärin huonoimmat arvostukset ja koulun yleinen viihtyvyys ja sisäilman laatu korkeimmat arvostukset. Vertailukoulujen rehtorit antoivat koulujen sisäympäristötekijöistä keskiarvoksi saman arvosanan 8,2 (7,3–8,8). Keskimäärin heikoimman arvosanan saivat ilmanvaihdon toiminta sekä akustinen ympäristö ja korkeimman arvosanan valaistus, koulun yleinen viihtyvyys ja huonelämpötila. Taulukossa 13 on esitetty rehtoreiden arvostukset elinkaarikouluista ja taulukossa 14 vertailukouluista.

Taulukko 13. Rehtorien antamat arvostukset elinkaarikoulujen sisäympäristötekijöistä (asteikko 4–10).

Elinkaarikoulu	E1	E2	E3	E4	E5	E6	Keskiarvo
Tilojen toiminallisuus	6	9	8	9	9	8	8.2
Yleinen viihtyvyys	7	9	8	10	9	9	8.7
Sisäilman laatu	7	9	9	10	9	9	8.8
Pintamateriaalit	6	9	8	9	9	8	8.2
Ilmanvaihdon toiminta	6	7	8	10	9	9	8.2
Huonelämpötila syksyllä ja keväällä	6	7	7	10	8	8	7.7
Huonelämpötila talvella	6	7	8	10	8	8	7.8
Akustinen ympäristö	7	8	8	9	9	9	8.3
Valaistus	7	8	8	9	9	9	8.3

Taulukko 14. Rehtorien antamat arvosanat vertailukoulujen sisäympäristötekijöistä (asteikko 4–10).

Vertailukoulu	V1	V2	V3	V4	V5	V6	Keskiarvo
Tilojen toiminnallisuus	8	10	9	4 ^a	8	9	8.0
Yleinen viihtyvyys	9	10	10	4 ^a	9	9	8.5
Sisäilman laatu	9	9	7	8	7	9	8.2
Pintamateriaalit	8	9	9	5 ^a	8	9	8.0
Ilmanvaihdon toiminta	8	9	4 ^b	9	5 ^c	9	7.3
Huonelämpötila syksyllä ja keväällä	8	9	7	8	9	9	8.3
Huonelämpötila talvella	8	9	8	8	9	9	8.5
Akustinen ympäristö	8	9	9	7	9	5	7.8
Valaistus	8	10	9	8	9	9	8.8

a Rehtorin mukaan vertailukoulu V4 oli remontoitu sen alkuperäisen 1970-luvun tyylin mukaisesti. *b* Koulun tarpeen mukaan toimiva (MIV) ilmanvaihtojärjestelmä aiheutti voimakkaan alipaineen koulurakennukseen (kuva 26). *c* ilmanvaihdon käyttäjät eivät vastanneet aina työskentelyaikoja.

Rehtorien haastatteluissa pääkaupunkiseudulla kiinteistön ylläpitoa ja erityisesti kiinteistöhuollon palvelunopeutta ja kiinteistöhoitajien joustavuutta pidettiin parempana elinkaarikouluissa kuin kaupungin omaraahoitteisissa kouluissa. Siivouksen sisällyttämistä elinkaarisopimukseen pidettiin tärkeänä. Onnistuneeseen lopputulokseen koettiin eniten vaikuttavan palveluntuottajan pitkä vastuu kiinteistön yllä- ja kunnossapidossa sekä hyvä elinkaarimanageri ja kiinteistöhoitaja. Pohjois-Savossa rehtorien mukaan onnistuneeseen lopputulokseen on vaikuttanut elinkaarikouluissa palveluntuottajan tuoma toisenlainen näkökulma koulurakennuksen toimintaan ja lisäksi palveluntuottajalla ja kaupungilla koettiin olevan selvä näkemys, mikä on hyvä lopputulos rakentamisessa ja ylläpidossa. Kiinteistön ylläpidolla koettiin olevan hyvä tahtotila asioiden hoitamiseen. Vertailukouluissa hyvään lopputulokseen arvioitiin vaikuttaneen yhdessä tekeminen ja että kouluun ja materiaaleihin on satsattu ja henkilökunnan mahdollisuus vaikuttaa suunnitteluun.

Rakennushankkeen tilaajan edustajien (n=7) haastatteluissa kartoitettiin mm. kouluhankkeiden suunnitteluun, rakentamiseen, rakentamisen valvontaan ja ylläpitoon sekä yhteistyöhön liittyviä tekijöitä. Tilaajien edustajat kokivat mahdollisuuden vaikuttaa suunnitteluun ja suunnittelun eri osa-alueisiin (taulukko 15) hieman myönteisemmin vertailukouluissa kuin elinkaarikouluissa. Kiinteistöhoito ja ylläpito koettiin keskimäärin parempana elinkaarikouluissa. Kuitenkaan tilaajan edustajien ja valvojen haastattelujen perusteella rakentamisen laadussa ei havaittu merkittävää eroa.



Taulukko 15. Rakennushankeen tilaajan edustajien eri osa-alueille antamat arvosanat (asteikko 4–10).

	Elinkaarikoulut							keskiarvo	Vertailukoulut							keskiarvo
Mahdollisuus vaikuttaa suunnitteluun	8	8	6	8	7	-	7	7,5	8	10	9	7	9	9	8	8,6
Ulkoaluesuunnittelu	8	-	6	8	8	7	7	7,4	8	8	-	7	9	7	8	7,8
Rakennesuunnittelu	8	-	7	8	9	-	7	7,7	8	8	-	8	9	9	8	8,3
Tilasuunnittelu	9	-	5	8	9	-	7	7,5	8	9	-	5	8	9	8	7,9
Energiatehokkuuden suunnittelu	9	9	8	8	9	-	7	8,2	9	9	9	9	8	8	9	8,6
Sisäympäristön suunnittelu	8	-	7	8	9	-	8	8,0	8	8	-	7	8	9	8	8,6
Suunnittelijoiden pätevyys ja työn valvonta	9	-	8	7	9	-	5	7,4	8	9	-	8	7	9	8	7,9
Rakentaminen	8	-	8	-	9	9	6	7,8	7	8	-	8	-	8	7	7,4
Kiinteistön käyttöönotto	-	-	8	-	8	8	5	7,4	7	-	-	8	-	8	7	7,5
Kiinteistönhoito ja ylläpito	9	9	8	-	9	9	9	8,8	8	8	7	8	-	8	8	7,8

Osa-alueiden keskiarvot on pyöristetty lähimpään kokonaislukuun.

Yhteistyö eri osapuolten (rakennuttaja, arkkitehti, rakennusvalvonta, akustiikka- ja sisustussuunnittelija, pääurakoitsija, käyttäjien edustajat) välillä rakennushankkeen aikana arvioitiin tilaajien edustajien puolesta tyydyttäväksi. Keskimäärin annettiin arvosana 7,9 (7,0–8,5) elinkaarikouluissa ja 7,7 (7,3–8,4) vertailukouluissa. Parhaiten yhteistyön koettiin sujuneen käyttäjien edustajien kanssa (elinkaarikouluissa 8,5 ja vertailukouluissa 8,7). Heikoiten yhteistyön koettiin puolestaan sujuneen elinkaarikouluissa akustiikkasuunnittelijan kanssa (7,0) ja vertailukouluissa arkkitehdin ja akustiikkasuunnittelijan (7,3). Yhteistyön määrä ja laatu koettiin osin riittämättömäksi.

Elinkaarimanagerien haasteluissa (E1–E6) arvioitiin mm. että suunnitteluun voidaan vaikuttaa merkittävästi ja suunnitteluratkaisuja voidaan muuttaa työn aikana. Talous on aina taustalla ja sovitut asiat on hoidettava. Asennetta korostettiin, tärkeää on halu tehdä hyvää työtä ja sitoutua. Huolto ja ylläpito nähtiin tärkeässä roolissa. Myös

elinkaarisopimuksien nähtiin kehittyneen, joskin sopimuksissa oli selviä virheitäkin. Palveluntuottajan valinta ja hyvä yhteistyö käyttäjien ja rehtorin kanssa nostettiin tärkeäksi. Kiinteistöhuollon työnjohdon tehtäviä pitäisi selkeyttää – työnjohdon tehtävänä nähtiin erityisesti ohjata ja motivoida huoltomiehiä työnteemisessä ja toisaalta joistain kommenteista kävi ilmi että työnjohtajia ei näy kuitenkaan kierroksella kouluissa. Kiinteistöhuoltosopimukset on käyty läpi huoltomiehen kanssa, tarve uudelleen läpikäyntiin nähtiin. Kysymyksinä esitettiin mm. mitä tarkoittaa tason parantaminen elinkaarikoulussa – kuka maksaa? Ei korjausvelkaa – mitä tarkoittaa esim. talotekniikan osalta? Rakentajaosapuoli ei aina valvo takuuajan töiden loppuun tekemistä. Ylläpidon kannalta nähtiin parempana, jos laitteet toimittaisi yksi ja sama toimittaja, mikä ei toteudu kun alihankkijat kilpailutetaan. Tilasuunnittelussa ei ole huomioitu riittävästi varastotilojen tarvetta, mikä tuli esiin myös muissa haastatteluissa. Yhteistyön määrä ja laatu rakennushankkeen aikana koettiin osin riittämättömäksi.

Kiinteistönhoitajia n=13 (koulut E1, E3, E4, V1, V2, V3 ja V4) haastateltiin mm. kokiensa suunnittelua, kiinteistönhoitotöitä, siivousta ja sisäympäristöä. Elinkaari- ja vertailukoulujen välillä ei koettu näillä osa-alueilla suuria eroja. Suunnittelu (piha-alue, tila, talotekniikkajärjestelmät ja laitteiden huollettavuus) arvioitiin elinkaarikouluissa arvosanalla 7,9 ja vertailukouluissa 7,7. Siivous arvioitiin vastaavasti arvosanoin 8,3 ja 8,4 sekä sisäympäristö (tilojen toiminnallisuus, viihtyvyys, sisäilman laatu, materiaalit, talotekniikkajärjestelmät, ilmanvaihto, huonelämpötilojen säätö, ääniympäristö ja valaistus) arvosanasanoin 8,5 ja 8,2. Kiinteistöhuoltotyöt (sisä- ja ulkopuoliset huoltotyöt, työnjohdon ohjaus ja valvonta) arvioitiin arvosanalla 8,5.

Taulukko 16. kiinteistönhoitajien eri osa-alueille antamat arvosanat (asteikko 4-10)

	Elinkaarikoulut keskiarvo				Vertailukoulut keskiarvo				
Suunnittelu	8,4	6,8	8,5	7,9	8,3	7,0	7,8	7,9	7,7
Kiinteistönhuoltotyöt	8,5	8,3	8,7	8,5	8,3	8,2	8,8	8,6	8,5
Siivous	8,0	9,0	7,7	8,2	8,4	8,6	8,0	9,0	8,5
Sisäympäristö	8,7	8,4	8,2	8,5	8,8	8,1	7,6	8,2	8,2

Kiinteistöhuollon työnjohdon ja kiinteistönhoitajien haastatteluissa painotettiin koulujen sekä piha-alueiden helppohuoltoisuutta ja nykyisin koettiin osin myös olevan liikaa tekniikkaa. Työnjohdon mukaan sisäilmaan liittyviä ongelmia koettiin esiintyneen eniten käyttöönottovaiheessa. Asioiden koettiin henkilöityvän ja työnjohdon aktiivisen läsnäolon olevan tärkeää. Uudisrakentamisen ja peruskorjauksen osalta tärkeitä asioita koettiin olevan mm. yleinen rakentamisen laatu, hyvä suunnittelu, arkkitehti ja työmaavalvonta.



LVI-valvojia haastateltiin kolmessa elinkaari- ja kahdessa vertailukoulussa (E1, E3, E4, V3, V4) ja LVI-suunnittelijoita näiden lisäksi kouluissa E5 ja E6. Haastatteluissa kartoitettiin LVIA-järjestelmien suunnitteluun ja rakentamiseen sekä valvontaan ja yhteistyöhön eri osapuolien välillä liittyviä tekijöitä.

Koulujen LVI-suunnittelijat pitivät IMS-järjestelmän suunnittelua, toteutusta ja ylläpitämistä erittäin vaativana työnä. IMS-mittasäätimien likaantuminen koettiin ongelmaksi. Urakoitsijan mukaan IMS:ien oikea toiminta edellyttää niiden puhdistusta vähintään kaksi kertaa vuodessa.

Onnistuneisiin lopputuloksiin koettiin tärkeänä heti alussa tiukka vaatimusten asettaminen koulun suunnittelulle: mitä halutaan ja mistä ei tingitä. Asiat on esitettävä selkeästi, koska koulun suunnittelu on vaativaa. Tekniikan osalta eri haastatteluissa painotettiin esiin yksinkertaista ja toimintavarmaa LVI-tekniikkaa ja tiivistä yhteistyötä eri osapuolten välillä ja kaikkien osapuolten aitoa mukanaoloa suunnittelu- ja järjestelmäratkaisujen valinnassa. Huolto-organisaatio olisi hyvä ottaa mukaan jo luonnossuunnitteluvaiheessa. Käyttäjien päätöksenteko koettiin välillä hitaaksi ja välillä vastuut ovat epäselviä.

LVIA-järjestelmien suunnittelun laadusta (sisältäen ilmanvaihto-, lämmitys-, vesi- ja viemäri-, jäädytys-, rakennusautomaatio- sekä muut LVI-järjestelmät) elinkaarikoulujen LVI-valvojat antoivat arvosanan 8,9 (vaihtelu em. osa-alueiden välillä 8,7–9,0) ja vertailukoulujen valvojat arvosanan 8,1 (8,0–8,5). Suunnitteluun oltiin yleisesti tyytyväisiä.

Talotekniikan rakentamisen laadun osalta elinkaarikoulujen LVI-valvojat antoivat vastaavista osa-alueista kiitettävän arvosanan 9,2 (9,0–10,0) ja vertailukouluissa selvästi heikomman arvosanan 7,2 (6,5–7,5). Huonoimmaksi osa-alueeksi koettiin vertailukoulussa ilmanvaihtojärjestelmien rakentamisen laatu (6,5). Myös rakennustyömaan siisteydestä, loppusiivouksesta ja rakennuksen valmiudesta käyttöönottoon elinkaarikoulujen valvojat antoivat paremman arvosanan 8,8 (8,5–9,0) kuin vertailukouluissa 6,3 (6,0–6,5).

LVIA-järjestelmistä valvojille toimitetuissa asiakirjoissa (mm. puhtauden tarkistus-, kanavien tiiviysmittaus-, ilmavirtojen mittaus-, ilmavirtojen säätö- ja toimintakokeiden asiakirjat) oli havaittu puutteita kanavien tiiviysmittauksen ja ilmavirtojen mittauksen ja säädön sekä toimintakokeiden asiakirjojen osalta sekä elinkaari- että vertailukouluissa. LVIA-järjestelmien käytöstä annettu opastus sekä käyttö- ja huolto-ohjeet nähtiin kuitenkin riittävän kattaviksi.

Yhteistyöstä eri osapuolten välillä (rakennuttaja, arkkitehti, rakennusvalvonta, akustiikka ja sisustussuunnittelija, pääurakoitsija, käyttäjien edustajat) LVI-valvojat an-

toivat elinkarikoulussa arvosanaksi 8,3 (7,0–9,0) ja vertailukouluissa vastaavasti 6,9 (5,0–8,0). Heikoimmin yhteistyö oli sujunut molemmissa ryhmissä rakennusvalvonnan kanssa ja parhaiten elinkarikouluissa arkkitehdin, rakennesuunnittelijan, sisustus-suunnittelijan ja käyttäjien edustajien kanssa. Vertailukouluissa yhteistyö oli sujunut parhaiten pääurakoitsijan kanssa. LVI-suunnittelijat puolestaan kokivat yhteistyön sujuneen elinkarikouluissa keskimäärin arvosanalla 8,6 (8,3–8,8). Parhaiten yhteistyö oli sujunut rakennesuunnittelijan, pääurakoitsijan ja käyttäjien edustajien kanssa. Yhteistyön määrä ja laatu koettiin rakennushankkeen aikana sekä elinkaari- että vertailukouluissa määrältään ja laadultaan riittäväksi.

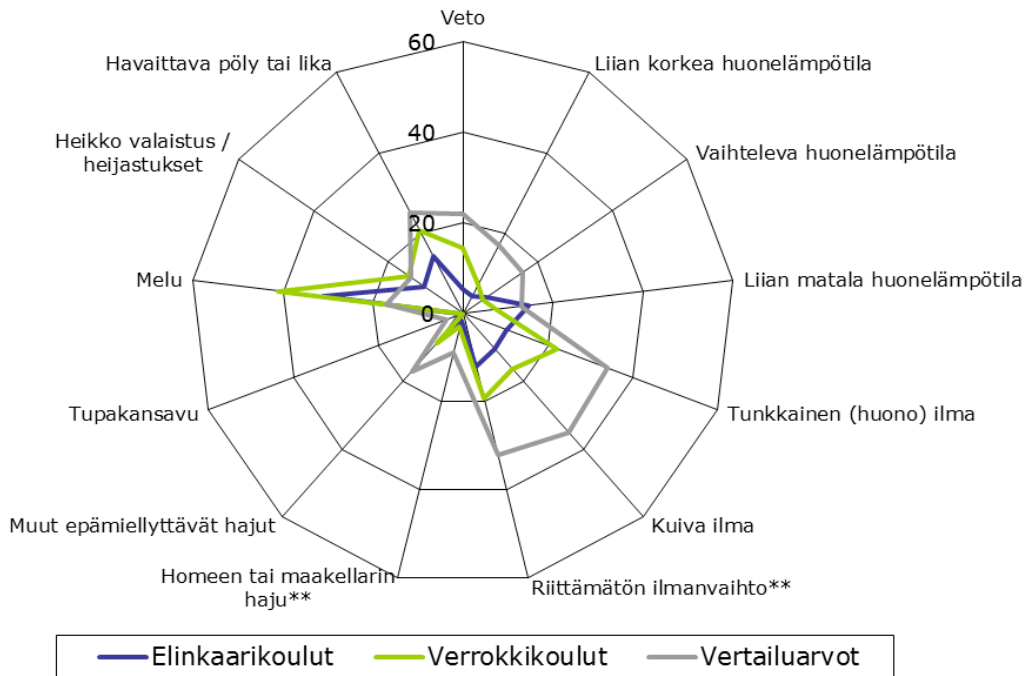
Koulujen vahtimestarien (V1–V4) haastatteluissa nousi esiin koulun ilmapiiri, korostettiin yhteisöllisyyttä, sitoutuneisuutta, vastuunkantoa ja positiivisuutta, joka kasaantuu. Rakennusvalvonnan rooli koettiin tärkeäksi ”rakentamisen laatu on sama kuin valvonnan taso”. Osin koettiin, että kiinteistönhuolto ei tiedä, kenen puoleen voisi kääntyä. Sen seurauksena asioita jää tekemättä/hoitamatta tai asioita tehdään väärin, jolloin myös käyttäjät kokevat, että asioita on tehty väärin. Kiinteistönhoitajalla, jolle on osoitettu myös muita kiinteistöjä, ei ole aina riittävästi aikaa kiinteistönhoitoon. Hyvistä työntekijöistä on pidettävä kiinni – haastatteluissa todettiin.

Työmaavalvojan kommentoissa rakennushankkeen onnistuneeseen lopputulokseen korostui osapuolten ammattitaito ja urakoitsijan riittävät resurssit hoitaa urakka. Elinkaarimallissa yhteistyön merkitys kasvaa. Tilaajan on pystyttävä kuvaamaan toiminnan laajuus tarjouspyyntövaiheessa.

4.9 Koettu sisäympäristön laatu

Kyselytutkimuksen mukaan melu oli suurin työympäristöhaitta elinkaari- ja vertailukouluissa. Keskimäärin 31 % elinkarikoulujen ja 41 % vertailukoulujen opettajista koki häiritsevää melua luokkahuoneissa joka on selvästi suurempi arvo kuin vertailuaineistona käytetyssä toimistoaineistossa (Reijula ja Sundman-Digert 2004) oleva 17 %. Opettajat raportoivat elinkarikouluissa liian matalasta huonelämpötilasta ja vertailukouluissa riittämättömästä tai häikäisevästä valaistuksesta hieman useammin kuin toimistotyöntekijät. Muuten sisäympäristö koettiin paremmaksi kuin toimistoissa. Sisäympäristön laatu koettiin hieman parempana elinkarikouluissa kuin vertailukouluissa. Elinkarikouluissa koettiin vähemmän vetoa, liian korkeaa lämpötilaa, tunkaista ja kuivaa ilmaa ja muita hajuja, riittämätöntä ilmanvaihtoa sekä näkyvää likaa ja pölyä kuin vertailukouluissa. Liian matalaa lämpötilaa koettiin enemmän elinkarikouluissa kuin vertailukouluissa. Työympäristöön liitetyt oireet olivat vertailuarvoja pienempiä. Kuvassa 25 on esitetty kyselytutkimuksen tulokset ja toimistorakennuksista kerätyt vertailuarvot.

Työympäristötekijät



Kuva 25. Koettu sisäympäristön laatu elinkaari- ja vertailukouluissa. Vastausten määrä 189 (vastausprosentti 32 %) elinkaarikouluissa ja 240 (vastausprosentti 39 %) vertailukouluissa.

4.10 Kyselyt

Rakennesuunnittelijat, työmaavalvojat ja urakoitsijat

Rakennesuunnittelijoilta saatiin kyselyvastauksia 4 / 12 (vertailukohteista 2 ja elinkaari-kohteista 2).

Työmaavalvojilta saatiin kyselyvastauksia 3 / 12 (vertailukohteista 1 ja elinkaari-kohteista 2).

Urakoitsijoilta saatiin kyselyvastauksia 1 / 12 (elinkaari-kohteista).

Vastausten määrä on alhainen. Kohteiden valmistumisesta on kulunut jo useita vuosia, ja kyselyihin vastanneet tahot ilmoittivat yleisesti, että he eivät muista kohteiden osalta asioita hyvin.

Seuraaviin taulukkoihin on kerätty vastauksia, joihin kaikki tai suurin osa vastanneista **rakennesuunnittelijoista** ovat antaneet vastauksen. Vastausten ryhmittely elinkaari- ja vertailukohteisiin ei tuo lisäarvoa vastausmäärän ollessa pieni.



Taulukko 17. Kysymykset rakennesuunnittelijoille.

Kysymykset rakennesuunnittelijoille	Kyllä	Ei
Olivatko rakennesuunnittelun lähtötiedot riittävät?	3	1
Oliko kohteesta tehty tai tehtiinkö kohteesta riskianalyysi tai arvio?	3	1
Oliko rakennejärjestelmille annettu erillisiä suunnitteluvaatimuksia lämpöteknisille vaatimuksille (lämmöneristävyys, rakenteellinen tiiviys)	3	1
Oliko rakennejärjestelmille annettu erillisiä suunnitteluvaatimuksia kosteusvahinkojen vaikutusten rakenteelliseen ehkäisyyn?	2	2
Oliko rakennejärjestelmille annettu erillisiä suunnitteluvaatimuksia sisäilmaston laadulle tai terveellisyyteen?	2	2
Vaadittiinko erillistä kosteudenhallintasuunnitelmaa	1	3
Korjauskohteissa; Oliko rakennesuunnittelun lähtötietoina rakennuksesta tehtyt kuntotutkimukset, kosteustekniset selvitykset, rak.fys.selvitykset tai sisäilmastoselvitykset?	2	
Varauduttiinko tai otettiin suunnittelussa huomioon työmaavaiheessa mahdollisesti tapahtuvaan rakenteiden satunnainen kastuminen ja materiaalin kuivumisnopeus?	2	2
Ilmenikö suunnitelmissa merkittävää ristiriitaisuutta muiden suunnitelmien kanssa (RAK, LVISA, ARK)?		4
Käytettiin ulkopuoleista asiantuntijaa rakennesuunnitelmien tarkastamisessa?	1	3
Varmistettiin eri suunnittelijoiden kanssa suunnitelmien yhteensopivuus (RAK, LVISA, ARK)?	4	
Arvio erosivatko rakennesuunnittelutehtävät merkittävästi elinkaarihankkeessa verrattuna muissa toteutusmuodoissa tehtyihin suunnittelutehtäviin?	1	1
Tehtiinkö rakennesuunnittelun (yleis- ja toteutussuunnittelu) aikana yhteistyötä rakennesuunnittelijan ja kuntotutkijan kesken?	1	1
Tehtiinkö rakennesuunnittelun (yleis- ja toteutussuunnittelu) aikana yhteistyötä rakennesuunnittelijan ja sisäilma-asiantuntijan kesken?	1	1
Tehtiinkö rakennesuunnittelun (yleis- ja toteutussuunnittelu) aikana yhteistyötä rakennesuunnittelijan ja rakennusfysiikan asiantuntijan kesken?	2	

Kyselyissä saatujen vastausten mukaan suurimmassa osassa vertailu- ja elinkaarikouluja sisäilmaston tavoitearvoksi oli asetettu sisäilmastoluokka S2, hyvä sisäilmasto. Yhden elinkaarikoulun kohdalla tavoitearvoksi oli asetettu sisäilmastoluokka S3, tyydyttävä sisäilmasto.

Rakennustöiden puhtausluokka (P1,P2, P3) oli asetettu vain yhden kohteen osalla luokkaan P2, muissa kohteissa rakennustöiden puhtausluokkaa ei ollut määritelty ollenkaan. Osassa vastauksia oli jätetty vastaamatta ko. kysymykseen kokonaan. Luokka P1 tarkoittaa työ- tai asuintiloja, joissa pyritään sisäilmastoluokan S1 tai S2 mukaiseen hyvään sisäilman laatuun, luokka P2 työ- tai asuintiloja, joissa pyritään sisäilmastoluokan S3 mukaiseen sisäilman laatuun.

Rakennuksen rakennusfysikaalinen suunnitteluluokka (lämpö- ja kosteustekninen suunnittelu) on jaettu kolmeen luokkaan, RF1, RF2, RF3, joista Luokka RF1 on vaativin. Saatujen vastausten mukaan kahdessa kohteessa oli asetettu suunnitteluluokaksi RF1, muiden kohteiden kohdalla suunnitteluluokkaa ei oltu määritelty.

Rakennesuunnittelijat arvioivat rakennesuunnittelun onnistumista luonnossuunnitteluvaiheessa asteikolla 4-10 keskiarvosanalla 7,6 (6-9) ja toteutussuunnitteluvaiheessa keskiarvosanalla 8,8 (8-9).

Rakennesuunnittelijat arvioivat yhteistyötä eri yhteistyötahojen kanssa seuraavasti:

Tilaaja / rakennuttaja 8,8 (8-9), rakennusvalvonta 8,8 (8-9), LVI-suunnittelija 8,5 (8-9), rakennustyön valvoja 9 (9), akustiikkasuunnittelija 8,3 (8-9), pääurakoitsija 8 (6-9), rakennesuunnitelmien tarkastaja 8,7 (8-9).

Taulukko 18. Sanallisia kommentteja.

Sanallisia kommentteja:

Miten työskentelyä yhteistyökumppaneiden kanssa mielestänne olisi voinut tehostaa?:

"Päätösten tekeminen oikeaan aikaan on erittäin tärkeää. Yhdellä puuttuvalla päätöksellä tai sen muuttamisella liian myöhään voi olla todella isot vaikutukset. Lisäksi suunnitelmien taso (määrä, laatu yms.) tulee olla selvemmin määritelly etukäteen eritoten tuotesakauppojen yhteydessä."

Onko jotain, mitä hankkeessa olisi voinut tehdä toisin rakennesuunnittelijan näkökulmasta?

"Lähtötietojen aikataulutus eri osapuolten kesken; näistä pitää tehdä oma aikataulu, joka sidotaan suunnitelmien toteutusaikatauluun. Yksittäisten tietojen perään kyseleminen pahimmillaan syö vain resursseja valmistuvien suunnitelmien ollessa silti liian keskeneräisiä."

"Uuden hissien sijoittamista voisi miettiä. Edullisin tapa tehdä hissilaajennus rungon viereen eikä "kenkälusikalla" rungon sisään. Arkkitehdit "taiteilee" aina... Pumppaamolle tehtiin turhaan "huoltorakennus" pihalle."

Seuraaviin taulukkoihin on kerätty vastauksia, joihin kaikki tai suurin osa vastanneista rakennustyön valvojista ovat antaneet vastauksen. Vastausten ryhmittely elinkaar- ja vertailukohteisiin ei tuo lisäarvoa vastausmäärän ollessa pieni.



Taulukko 19. Kysymykset rakennustyön valvojille.

Kysymykset rakennustyön valvojille	Kyllä	Ei
Oliko suunnitelmissa valvojan näkökulmasta riittävästi yksilöityjä laatuvaatimuksia?	1	2
Laatiko valvoja valvontasuunnitelman?	1	2
Varmistettiin vanhojen rakenteiden kunto, vauriot ja niiden aste sekä laajuus?	2	
Dokumentoitiinko laadunvarmistamiskokeiden tulokset?	3	
Pidettiinkö valvontapöytäkirjaa?	1	2
Oliko hankkeessa erillinen kosteudenhallintasuunnitelma?	3	
Käytettiinkö työmaalla sääsuojasta?	1	2
Pysyikö työmaa aikataulussa?	3	
Ilmenikö merkittäviä ristiriitaisuuksia suunnitelmien ja työmaan toteutuksen välillä?	2	1
Korjauskohteissa; Oliko asiakirjoissa tai urakkaneuvotteluissa annettu vaatimuksia tai erityishuomio rakenteiden vaurioiden laajuudessa?	2	
Korjauskohteissa; Oliko asiakirjoissa tai urakkaneuvotteluissa annettu vaatimuksia tai erityishuomio riskirakenteille?	2	
Korjauskohteissa; Oliko asiakirjoissa tai urakkaneuvotteluissa annettu vaatimuksia tai erityishuomio rakenteiden ilmatiiviydelle?	1	1
Luovutettiinkö kohde täysin valmiina?	3	

Rakennustyön valvojat arvioivat hankkeen onnistumista rakentamisvaiheessa asteikolla 4-10 keskiarvosanalla 8,3 (8-9) ja käyttöönottovaiheessa 8,5 (8-9).

Rakennustyön valvojat arvioivat yhteistyötä eri yhteistyötahojen kanssa asteikolla 4-10 ja keskiarvosanalla seuraavasti:

Tilaaja / rakennuttaja 8,6 (8-9), käyttäjien edustajat 8,6 (8-10), rakennusvalvonta 8,3 (8-9), LVI-suunnittelija 8,3 (8-9), akustiikkasuunnittelija 8 (8), sähkösuunnittelija 8,3 (8-9), rakennesuunnittelija 7,8 (7-9), sisustussuunnittelija 8 (8), arkkitehti 8 (7-9), LVI-SA töiden valvoja 8,3 (8-9).

Rakennustyön valvojat arvioivat hankkeen valvonnan vaativuutta ja valvonnan onnistumista asteikolla 4-10 ja keskiarvosanalla seuraavasti:

Hankkeen vaativuus 8 (8) ja onnistuminen 8,3 (8-9).

Taulukko 20. Sanallisia kommentteja.

Sanallisia kommentteja miksi hankkeessa onnistuttiin niin hyvin:

”Aikataulu piti ja laadullinen onnistuminen kohtuullista n. 10 vuoden käyttökokemuksen perusteella.”

Rakennustyön urakoitsijoilta saatiin kyselyvastaukset yhden kohteen osalta, mutta kahdelta eri henkilöltä. Vastauksissa esiintyi saman kohteen osalta ristiriitaisia ja toisensa kumoavia vastauksia, jolloin vastaukset eivät ole luotettavia.

Arkkitehdit ja pääsuunnittelijat

Kyselyihin saatiin vastauksia pääkaupunkiseudulla kahdeksasta koulusta viideltä suunnittelijalta ja Pohjois-Savosta kaikilta neljältä suunnittelijalta.

Huomioita vertailukoulujen osalta:

- Oman suunnittelun koettiin onnistuneen yleisesti melko hyvin; arvot 7-9 Pohjois-Savossa, ja 8-9 pääkaupunkiseudulla
- Kriittisimmin omaa onnistumista arvioitiin ilmansuuntien ja tuuliolosuhteiden huomioon ottaen osalta (pääkaupunkiseutu).
- Pohjois-Savossa V6 koulun osalta oli kyselylistaan lisätty Työnohjaus arvolla 6.
- Yhteistyön eri osapuolien kesken koettiin onnistuneen hyvin, arvot 8-9; poikkeuksina Käyttäjien edustajat arvolla 6 V6 koulussa Pohjois-Savossa ja Pääurakoitsija arvolla 7 pääkaupunkiseudulla.

Huomioita elinkaarikoulujen osalta:

- Oman suunnittelun onnistumisen osalta oltiin melko tyytyväisiä; arvot 7-10.
- Yhteistyön koettiin onnistuneen pääosin hyvin, arvolla 7-10 Pohjois-Savossa ja pääkaupunkiseudulla arvolla 9. Pohjois-Savossa kuitenkin molemmissa elinkaarikohteissa yhteistyö rakennusvalvonnan kanssa erottui selvästi huonommalla arvolla 7, samoin yhteistyö käyttäjien kanssa arvolla 7 (E6). Pääkaupunkiseudulla oli yksi poikkeus, yhteistyö Rakennesuunnittelijan kanssa arvolla 6 (E3).



Sanallisia kommentteja, vertailukoulut/ Pohjois-Savo:

Oli ongelmia kaupunkiorganisaation sisäisessä henkilöstö- ja toimintakulttuurissa.

Ex-rehtorien ja koulutoimen edustajien ”kähinöinti” tilakeskuksen kanssa esti järkevänä tarvittavan tiedonkulun suunnitteluprosessin aikana (V6)

Sisustussuunnittelu tapahtui tavarantoimittajien aggressiivisella suoramyyntillä käyttäjille.

Eniten vaikutusta elinkaarihankkeessa/korjauskohteessa onnistuneen lopputuloksen kannalta:

- Osaaminen, tieto, asialliset määräykset ja vaatimukset
- Opettajien käytöskoulutus (V6)
- Hankevaiheen selkeyttäminen

Sanallisia kommentteja, vertailukoulut / pääkaupunkiseutu:

Miten työskentelyä yhteistyökumppaneiden kanssa mielestänne olisi voinut tehostaa?

- LVIAS ja RAK-erikoissuunnittelijoiden parempi sitoutuminen yhteisesti sovitun aikatauluun
- Olisi voinut toimia paremmin mikäli palkkioita ei olisi kilpailutettu niin tiukasti (=normaali hankintamenettely). Nyt jokainen pyrki tekemään suunnitelman-
sa vaan kertaalleen eikä se toimi ideaalisti vanhan rakennuksen korjaushank-
keessa.

Millä tekijöillä arvioisitte olevan eniten vaikutusta elinkaarihankkeessa/korjauskohteessa onnistuneen lopputuloksen kannalta?

- lähtötietojen ja tilaajan tavoitteiden määrittely (suunnitteluratkaisulle)
- riittävä panostus suunnittelun laatuun



Sanallisia kommentteja, elinkaarikoulut/Pohjois-Savo:

- Materiaaleja ja detaljeja käytiin enemmän läpi rakentajan kanssa ja he vaikuttivat tehtyihin ratkaisuihin jaettua urakkaa enemmän. Detaljien toimivuutta varmistettiin monin tavoin, mutta oma liikkumavara arkkitehtuurin ja estetiikan suhteen pienempi. Käyttäjien kanssa yhteistyö jäi vähän pintapuoliseksi, johtuen osin siitä että rehtori oli lähdössä pois virastaan
- Rakennesuunnittelun asiantuntemus ja panos johti korjausasteen merkittävään nousuun toteutusvaiheessa kun piilevät riskit havaittiin.
- Elinkaarihankkeen kilpailutuksessa korostuu hinta ja tekninen varmuus. Enemmän saisi olla painoa myös kaupunkikuvallisilla asioilla sekä viihtyvyydellä. Arvioinnissa muutenkin paino enemmän kokonaisuuden kehityskelpoisuudella kuin toiminnallisten yksityiskohtien virheettömyydellä
- Suunnittelijan liikkumavara voisi olla suurempi, mutta hankemalli ei oikein kannusta arkkitehtonisesti viimeistellyn lopputuloksen tai uusien ratkaisujen kokeilemiseen vaan riskien hallinta ja virheiden välttäminen korostuvat

Sanallisia kommentteja, elinkaarikoulut/pääkaupunkiseutu:

- Elinkaaritoteutusmalli selvisi suunnitteluryhmälle vasta hyvin myöhäisessä vaiheessa.
- Korjauskohteessa suunnittelun lähtökohtana ollut olemassa oleva rakennus ja suunnittelijan mahdollisuudet vaikuttaa rakennuksen perusratkaisuihin esim. tontille sijoittamiseen ja massoiteluun ovat rajoitetut.
- Elinkaariurakoitsija ei hakenut halvinta ratkaisua vaan ylläpidon kannalta kestävää mutta kuitenkin edullista ratkaisua.
- Useat rakenne- ja materiaaliratkaisut suunniteltiin useampaan kertaan, kun urakoitsija kilpailutti materiaalitoimittajia ja valitsi niistä kohteeseen sopivimman vaihtoehdon, joka sitten hyväksytettiin tilaajalla.
- Tilaajalta oli joissakin tapauksissa vaikea saada kommentteja ja selkeitä päätöksiä suunnitteluratkaisuista.

Millä tekijöillä arvioisitte olevan eniten vaikutusta elinkaarihankkeessa/korjauskohteessa onnistuneen lopputuloksen kannalta?

- Aktiivinen vuorovaikutus suunnittelijoiden ja urakoitsijan välillä.

Onko jotain, mitä olisi voinut tehdä toisin?

- Suunnitteluaiakataulu oli liian kireä

4.11 Elinkaarihankkeiden palvelukuvausten eroja

Elinkaarisopimuksen liitteenä olevat "Palvelukuvaukset" oli päivätty Pohjois-Savossa 14.12.2009 ja pääkaupunkiseudulla 3.10.2011.

Liitteeseen 4 on koottu oleelliset erot sopimusten palvelukuvauksissa. Verrattaessa pääkaupunkiseudun ja Pohjois-Savon elinkaarisopimusten palvelukuvauksia suurimmat erot löytyivät vaatimuksissa korjaustoimenpiteiden toteuttamisen vastejosta siten, että Pohjois-Savossa vastejat olivat selkeästi pidempiä kuin pääkaupunkiseudulla. Lisäksi Pohjois-Savon palvelusopimuksen osana oli "Menettelytapaohje sisäilmaongelmissa", josta löytyi myös luettelo toimenpideohjeista hyvän sisäilman turvaamiseksi. Siihen oli sen lisäksi, että oli kuvattu yleiset menettelytavat sisäilmaongelmakohteissa, myös kirjattu konkreettisia ohjeita sisäilmaongelmien ennaltaehkäisyyn liittyen kiinteistön oikeaan käyttöön ja hoitoon, tilojen sisustukseen, siivoukseen, lämmitykseen, ilmanvaihtoon sekä vesijohtojen ja viemäreiden hoitoon. Pääkaupunkiseudun palvelusopimuksessa oli viittaus sopimuksen mukaiseen sisäilmastoon tilojen olosuhteiden osalta, mikä piti sisällään lähinnä tietoa jo olemassa olevien ongelmien hoitoon ja yleisiin menettelytapoihin sisäilmaongelmaisissa kohteissa.

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus

Ilman lämpötila oli tutkittujen elinkaari- ja vertailukoulujen luokkahuoneissa keskimäärin samalla tasolla ja olivat suurimman osan mittausajasta Sisäilmastoluokituksen S2 ja S3 tavoitearvojen mukaisia (Sisäilmastoluokitus 2008). Pienimmät erot keskimääräisissä lämpötiloissa oli elinkaari- ja vertailukoulujen luokkahuoneiden välillä ja suurimmat erot liikuntasalien välillä. Muutamissa luokissa oli korkeita hetkellisiä lämpötiloja todennäköisesti auringon paisteesta johtuen. Energiasäästön takia ilman lämpötilaa pudotettiin lomien aikaan selkeimmin noin 16–18 °C:een vertailukoulun V1 luokkahuoneissa ja liikuntasalissa. Yöllä ja viikonloppuisin ilman lämpötila oli tyyppillisesti noin 1–3 °C matalampi kuin päivällä. Keskimääräinen suhteellinen kosteus oli likimäärin sama elinkaarikouluissa ja vertailukouluissa mittausjakson aikana.

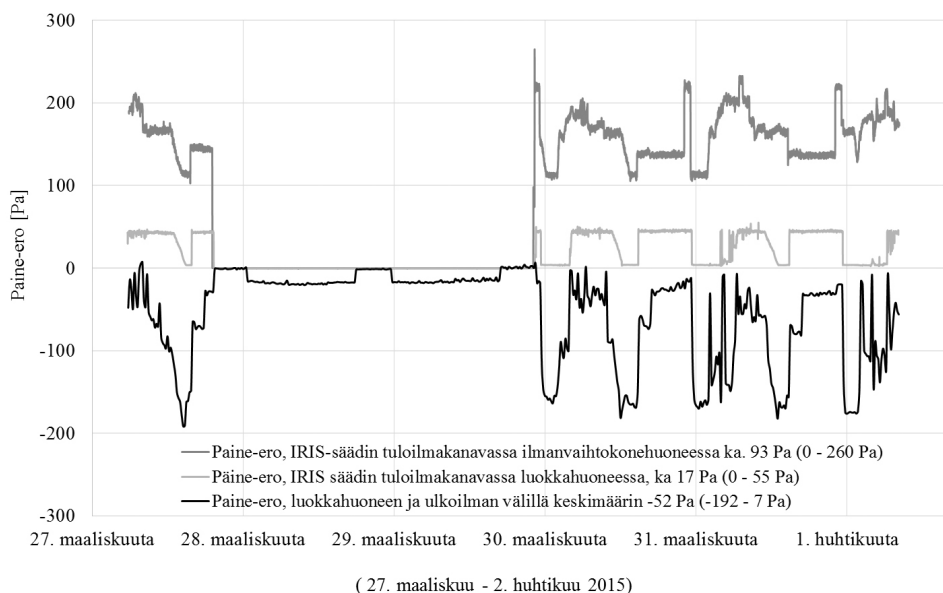
5.2 Hiilidioksidipitoisuus ja paine-erot

Ilman keskimääräinen CO₂-pitoisuus oli suhteellisen matala tutkituissa elinkaari- ja vertailukouluissa. Korkeimmat keskimääräiset CO₂-pitoisuudet mitattiin elinkaarikoulun E3 (ylä-asteen ja lukion) luokkahuoneesta (710 ppm), jossa oppilaiden määrä oli suhteellisen korkea. Koulupäivinä CO₂-pitoisuus vaihteli elinkaarikoulujen yksittäisissä luokkahuoneissa noin 380–2400 ppm ja vertailukoulujen luokkahuoneissa noin 380–1 830 ppm välillä. Yleisesti, joitakin poikkeuksia lukuun ottamatta, maksimiarvot pysyivät mittausjaksojen aikana luokissa sisäilmastoluokan S2-mukaisina eli alle 1200 ppm. Korkea CO₂-pitoisuus heikentää oppimista (Bakó-Biró ym. 2012), minkä vuoksi liian korkeaa CO₂-pitoisuutta pitäisikin välttää kouluissa.

Tutkituissa vertailukouluissa keskimääräinen alipaine luokkahuoneen ja ulkoilman välillä oli noin 1,5 kertaa suurempi kuin elinkaarikouluissa. Useimmissa kouluissa paine-ero luokkahuoneen ja ulkoilman välillä oli ajoittain yli -100 Pa ja ylitti siten Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa D2 (RakMK 2012) annetun minimiarvon -30 Pa. Voimakkaan alipaineen koettiin aiheuttavan haittaa erityisesti vertailukoulussa V3. Osa mitatuista luokkahuoneista oli myös hetkellisesti ylipaineisia (yli 100 Pa) ulkoilmaan nähden. Ilmanvaihdon ilmapirrat on suunniteltu kouluissa yleensä tasapainoon tai poistoilmavirta hieman suuremmaksi. Tämän tarkoitus on estää sisäilmassa olevan kosteuden kulkeutuminen ulkoseinärakenteeseen.

Sytä vertailukoulun V3 voimakkaaseen alipaineeseen selvitettiin mittaamalla samanaikaisesti tuloilmakanavan ja luokkahuoneen paine-eroa. Kanavistosta mitattu paine-ero tallennettiin minuutin välein. Kuva 26 esittää paine-eron vaihtelua tuloilmaka-

navistossa ja luokkahuoneen ja ulkoilman välillä viikon mittausjakson aikana keväällä 2015. Ilmanvaihtokoneen käydessä tuloilmakanaviston paine vaihteli lähellä ilmanvaihtokonetta 103–261 Pa ja lähellä luokan päätelaitetta 3–55 Pa. Mittaustulokset osoittivat, että muutos tuloilmakanaviston paineessa lähellä tuloilman päätelaitetta aiheutti suuren muutoksen luokkahuoneen ja ulkoilman välisessä paine-erossa. Tämä tarkoittaa sitä, että tulo- ja poistoilmavirrat eivät pysyneet tasapainossa ilmanvaihdon toiminnan aikana. Pölyn kertymistä poistoilmakanavan IMS-säätimeen pidettiin yhtenä syynä ilmanvaihdon epätasapainoon. Lisätutkimus tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toiminnasta kouluissa olisi kuitenkin tarpeen.



Kuva 26. Tuloilmakanaviston paine ja paine-ero luokkahuoneen ja ulkoilman välillä vertailukoulussa V3 27.3–2.4.2015. Kanaviston paine mitattiin IRIS-säätimisistä, jotka sijaitsivat tuloilmakanavan runkokanavassa lähellä ilmanvaihtokonetta ja kytkentäkanavassa lähellä luokkahuoneen tuloilman päätelaitetta.

5.3 Äänitaso luokkahuoneissa

Koululuokissa opetustilanteissa mitatut äänenpainetasot (vaihteluväli 55–75 dB) on mitattu lähellä opettajan pöytää, joten luokan äänistä se antaa vain hyvin karkean tiedon. Jos luokassa työskennellään ryhmissä tai opettaja kiertelee oppilaiden joukossa hiljaisen työskentelyn aikana, äänitasot ovat alhaisempia, kuin lähellä mikrofoonia kuuluvalla äänellä tapahtuvan puheen taso. Yksittäisessä pisteessä mitatusta äänenpainetasosta ei pysty päättelemään luokan kaikuisuudesta tai rakennusteknisten äänien voimakkuuksista. Nämä mittaukset vaatisivat monipuolisempaa mittaustekniikkaa, jota ei kuitenkaan tarvitsisi käyttää muutoin kuin tilan käyttöönottotarkastuksen yhteydessä.

5.4 Kemialliset epäpuhtaudet

Kouluissa mitatut ammoniakkipitoisuudet olivat 2,3–29,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja olivat täten tavanomaisia sisäilmapitoisuuksia. Pitoisuutta 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voidaan pitää tavanomaista korkeampana pitoisuutena ja syy tälle olisi etsittävä (STM, 2003). Keskimääräinen ammoniakkipitoisuus oli hieman korkeampi elinkaarikouluissa (12,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) verrattuna vertailukouluihin (10,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

TVOC-pitoisuudet olivat suunnilleen samalla tasolla elinkaarikouluissa ja vertailukouluissa. Korkeat TVOC-pitoisuudet selittyivät tyypillisesti 1–2 yhdisteen kohonneilla pitoisuuksilla. Päivällä mitattiin korkeita pitoisuuksia D5:lle ja limoneenille, esim. koulussa E2 TVOC-pitoisuuden ollessa 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ D5:n pitoisuus oli 159 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja vastaavasti koulun V3 TVOC-pitoisuus (291 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) selittyi limoneenin korkealla pitoisuudella (187 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Yöaikaan kahdessa elinkaarikoulussa mitattiin selkeästi korkeampia pitoisuuksia. Koulun E3 kohonneita yöaikaisia terpeeni- ja happopitoisuuksia ei pystytty tämän hankkeen puitteissa selvittämään. Koulun E6 opettajanhuoneen kohonneet 2-etyyli-1-heksanolipitoisuudet johtuivat kostean betonin päälle asennetun muovimaton hajoamisesta. Mittausten jälkeen muovimatto on poistettu ja lattia kuivatettu.

Suomessa toimistoympäristöissä TVOC-taso on tyypillisesti 50–250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Salonen 2009) ja Työterveyslaitoksen viitearvo toimistotyypisille työpaikoille on 250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Työterveyslaitos 2012). Tässä tutkimuksessa mitatut pitoisuudet olivat pääosin viitearvojen mukaiset. Sosiaali- ja terveysministeriön uuden asetuksen mukaan sisäilman TVOC-pitoisuuden toimenpideraja tolueenivasteella laskettaessa on 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Yksittäisen VOC-yhdisteen toimenpideraja tolueenivasteella laskettaessa on 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatille (TXIB:lle) ja 2-etyyli-1-heksanolille asetetut toimenpiderajat ovat 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (FINLEX 2015). TVOC-pitoisuuden toimenpideraja ylittyi vain koulussa E3 luokahuoneesta kerättyssä yöaikaisessa näytteessä. Yksittäisen VOC-yhdisteen toimenpideraja ylittyi D5:n ja limoneenin kohdalla useassa näytteessä. Koulun E3 yöaikaisessa näytteessä 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$:n toimenpiderajan ylittivät alfa-pineeni, dodekaanihappo, tetradekaanihappo sekä n-heksadekaanihappo. TXIB:n toimenpidearvo ylittyi koulussa E3 luokahuoneen kaikissa näytteissä olleen päivällä 21–32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja yöllä 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 2-etyyli-1-heksanolin toimenpidearvo ylittyi ainoastaan koulussa E6 kaikissa opettajanhuoneen näytteissä (päivällä 13–14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ja yöllä 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) ja yöaikaisessa luokahuoneen näytteessä (13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ruotsissa kouluissa on mitattu tämän tutkimuksen kaltaisia TVOC-pitoisuuksia, vaihdellen välillä 7–646 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Smedje ja Norbäck 2001) ja Portugalissa TVOC-pitoisuudet koulujen ja päiväkotien luokahuoneissa ovat olleet hieman korkeampia vaihdellen 65–1927 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ välillä (Nunes ym. 2015). Eräässä suomalaisessa tutkimuksessa

kosteusvaurioituneessa koulussa mitattiin yli 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ TVOC-pitoisuuksia, mutta korjauksen jälkeen TVOC-pitoisuudet olivat alle 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Putus ym., 2004).

VOC-yhdisteiden profiili oli hieman erilainen päivällä ja yöllä. Kaikissa kouluissa mitattiin päivällä D5:a korkeampina pitoisuuksina kuin yöllä. D5 on yleinen yhdiste mm. hygienia- ja siivoustuotteissa, elektroniikassa ja tekstiileissä (Momentive 2015). Mitaukset tehtiin päivällä koulujen normaalin toiminnan aikana, joten luokissa ja opettajanhuoneissa oli vaihtelevia määriä ihmisiä, mikä voi selittää korkeita D5-pitoisuuksia. D5-tason on havaittu nousevan ihmisten läsnä ollessa ja selittävän kolmanneksen VOC-pitoisuudesta luokahuoneissa, jossa oli oppilaita (Tang ym. 2015). Toinen etenkin päivällä mitattu yhdiste oli limoneeni. Limoneenia käytetään hajusteina mm. hygienia- ja puhdistustuotteissa. Yöaikaan yksittäisten VOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat tyypillisesti alle 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kouluja E3 ja E6 lukuun ottamatta. Lisäksi nonanaalin yöaikainen pitoisuus oli korkeampi kouluissa E5 ja E6 ja limoneenin yöaikainen pitoisuus kohosi yli 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ kouluissa E2, E3, E4, E5, E6, V2 ja V5.

Aldehydi- ja ketoniyhdisteiden pitoisuudet olivat niin ikään matalia ja pitoisuuksien vaihteluvälit olivat samalla tasolla elinkaarikouluissa ja vertailukouluissa. Keskimääräiset pitoisuudet olivat hieman korkeampia elinkaarikouluissa. Yhdisteistä ainoastaan formaldehydille on annettu viitearvoja. Sosiaali- ja terveysministeriön uuden asetuksen mukaan sisäilman formaldehydipitoisuuden lyhyen ajan keskiarvopitoisuus 30 minuutin mittauksen aikana ei saa ylittää 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (FINLEX 2015). Nyt mitatut formaldehydipitoisuudet olivat korkeimmillaan vain 12 % toimenpiderajasta. Laajan review-artikkelin mukaan kouluissa on mitattu formaldehydipitoisuuksia välillä 0,3-85,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ruotsissa tehdyissä tutkimuksissa formaldehydipitoisuudet ovat olleet samaa luokkaa kuin tässä tutkimuksessa, pitoisuuksien ollessa välillä 3-72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Annesi-Maesano ym., 2013).

Tyypillisesti yöllä mitatut aldehydien ja ketonien pitoisuudet olivat päivällä mitattuja pitoisuuksia korkeampia. Mitattuja yhdisteitä emittoituu sisäilmaan jatkuvasti, mutta päivällä niiden pitoisuus oli matalampi johtuen ilmanvaihdon laimentavasta vaikutuksesta.

Koulut olivat hyvin erilaisia (Taulukot 1, 2 ja 3), mikä voi vaikuttaa tilojen kemiallisten yhdisteiden profiileihin. Osassa kouluista toimi esi- ja alakoulu, osassa taas yläkoulu ja lukio. Toimintatavat näissä ympäristöissä voivat olla hyvinkin erilaisia. Esi- ja alakoulussa askarrellaan paljon ja täten käytetään liimoja ja tusseja, mikä voi vaikuttaa VOC-pitoisuuksiin. Lisäksi oppilailla on ns. kotiluokat eli he ovat reppuineen koko päivän samassa luokassa. Luokissa on usein mattoja ja sohvia sekä askarteluja esillä. Yläkoulun ja lukion puolella taas luokissa on usein pelkästään pöydät ja tuolit ja oppilaat kiertävät luokasta toiseen. Lisäksi luokissa ja opettajanhuoneissa oli eri määriä

ihmisiä mittausten aikaan. Joissain tiloissa myös tuuletettiin, kun joissain tiloissa ikkunoita ei edes saanut auki. Erilaiset ilmanvaihto- ja siivousrytmit myös vaikuttavat kemiallisten yhdisteiden esiintymiseen koulujen sisäilmassa. Kaikki nämä seikat voivat vaikuttaa mitattuihin kemiallisten yhdisteiden pitoisuuksiin, jotka olivat pääsääntöisesti viitearvojen alapuolella muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta (koulut E3 ja E6). Sisäilmasto-olosuhteita voidaan pitää tavanomaisena mitattujen kemiallisten yhdisteiden osalta sekä elinkaari- että vertailukouluissa.

5.5 Siivouksen laatu ja siivottavuus

Tuloksissa ei havaittu merkittäviä eroja elinkaari- ja vertailukoulujen välillä mutta saman koulun sisällä saattoi olla selkeitä eroja. Erot saattoivat aiheutua tilojen erilaisesta siivottavuudesta, siivouksen ajankohdasta suhteessa tehtyihin mittauksiin tai jopa eri siivouksen tuottajasta. Saman koulun sisällä saattoi toimia esim. useampi siivousliike. Tutkimuksessa ei pystytty vakioimaan mittausajankohtaa suhteessa suoritettuun siivoukseen.

Yläpölyjen pintapölykertymät olivat suurimmat ja tämä näkyi lähes kaikissa kohteissa. Vastaavasti lattioiden pintapölykertymät olivat vähäisiä verrattaessa INSTA 800 standardissa määriteltyn sisäilmatasoon. Sisäilman kannalta tasopinnat ovat kriittisempiä pintoja verrattuna lattioihin. Tutkimuksessa ei ollut käytettävissä tietoa edellisestä yläpölyjen pyyhinnästä, joka yleensä tehdään kerran tai joskus kaksi kertaa vuodessa.

Rakennuksissa oli myös pintoja, joita ei tavanomaisin siivousvälinein ja – menetelmin voitu puhdistaa, kuten ylhäällä olevat pinnat, joille pölyä pääsee kertymään tai toisaalta lähipinnat, joita ei pysty pyyhkimään liiallisen tavarankuormituksen vuoksi. Nämä pinnat muodostavat haasteen pintapölyjen kertymiselle.

Kouluja kierrettäessä voitiin myös havaita, että luokissa ei säilytystilaa välttämättä ollut tarpeeksi sillä varsinkin pienempien lasten luokissa tarvitaan askarteluvälineitä yms., joille olisi hyvä olla selkeä säilytyspaikka. Tavaraa oli myös korkeiden kaappien päällä, jolloin pinnan puhdistaminen on suhteellisen hankalaa ja vaatii lisävälineitä. Tänä päivänä myös työsuojelumääräykset sanelevat sen mitä siivooja saa tehdä.

Yhteistyö eri tahojen välillä tulisi toimia saumattomasti. Nyt samassa koulussa saatetaan olla useita eri toimijoita ilman, että selkeä työnjako olisi selvillä.

Laatustandardin käytön soisi lisääntyvän, erityisesti huomioiden pintapölyn sisäilma-tason laatuvaatimukset. Tässä tutkimuksessa tarkastettavia tiloja olisi voinut olla enemmänkin mutta välttämättä se ei olisi tuonut lisäarvoa. Edellisen siivouksen ajankohdan tietäminen olisi helpottanut tulosten tulkintaa.

Yksi haaste paremmalle siivottavuudelle saattaa ihan tiedon puute, ei tiedetä, että myös omilla valinnoilla pystytään vaikuttamaan tilan ilmaan.

5.6 Energian ja veden kulutus

Vuosina 2013 ja 2014 keskimääräinen sähköenergiankulutus elinkaarikouluissa oli hieman pienempi kuin vertailukouluissa, kun kulutusta verrataan rakennustilavuutta kohti. Sähköenergiankulutus bruttopinta-alaa kohti oli elinkaarikouluissa keskimäärin 0,8ertainen suhteessa vertailukouluihin (taulukko 22). Mitattu sisälämpötila oli hieman korkeampi elinkaarikouluissa, joka osaltaan selittää suuremman kaukolämmönkulutuksen ko. kouluissa. Myös muut tekijät kuten keittiön ja liikuntasalin käyttö vaikuttivat koulujen energian ja vedenkulutukseen. Kaukolämmön kulutus elinkaarikoulussa E2 (vuosina 2013–2014) ja vedenkulutus elinkaarikoulussa E1 (2013) oli suhteellisen korkea verrattuna muihin elinkaarikouluihin.

Lämmöntarveluku oli Helsingissä hieman korkeampi vuonna 2013 kuin vuonna 2014 (Ilmatieteenlaitos 2016). Tästä huolimatta sähkö- ja kaukolämmön energiankulutus oli suurempi vertailukouluissa V2 ja V3 vuonna 2014 kuin 2013. Ilmanvaihtokoneiden käyntiaika oli näissä kouluissa pidempi verrattuna muihin kouluihin (taulukko 4), mikä osaltaan suurensi energiankulutusta näissä kouluissa. Taulukko 22 esittää keskimääräisen energian ja vedenkulutuksen suhteen elinkaari- ja vertailukouluissa rakennustilavuutta ja bruttopinta-alaa kohti.

Taulukko 22. Keskimääräinen energian ja vedenkulutus elinkaarikouluissa suhteessa vertailukouluihin vuosina 2013–2014.

Energia ja vesi	Sähkönkulutus [-]		Kaukolämmönkulutus [-]		Vedenkulutusa [-]	
Vuosi	2013	2014	2013	2014	2013	2014
E/V [kWh/a m ³]	0,9	0,9	1,3	1,1	1,3 ^b	1,1 ^b
E/V [kWh/a m ²]	0,8	0,8	1,2	1,0	1,2 ^c	1,1 ^c

^a Sisältää kylmän ja lämpimän käyttövedenkulutuksen. ^b Suhde laskettu käyttämällä yksikköä [dm³/a m³].

^c Suhde laskettu käyttämällä yksikköä [dm³/a m²].

Kahdessa elinkaarikoulussa (E2 and E3) ja kahdessa vertailukoulussa (V2 and V3) oli maalämpöpumppu, jolla tuotettiin osa lämmitykseen tarvittavasta energiasta. Jostakin syystä kaukolämmönkulutus rakennuksen tilavuutta kohti oli elinkaarikoulussa E2 viisi kertaa suurempi kuin elinkaarikoulussa E3 vuonna 2014. Elinkaarikouluun E1 oli koulun suunnittelun aikana laskettu korkea energiatehokkuusluokka (A_{2007}). Ominaisenergian ja vedenkulutus oli kuitenkin elinkaarikoulussa E1 suurempi kuin muissa elinkaarikouluissa (paitsi kaukolämmönkulutus elinkaarikoulussa E2), joissa oli laskennallisesti huonompi energiatehokkuusluokka ($B_{2007} - G_{2007}$). Tulos osoittaa, että laskennallinen energiatehokkuusluokka voi poiketa merkittävästi todellisesta energiankulutuksesta. Vastaava tulos saatiin tutkimuksessa, jossa selvitettiin primaariener-

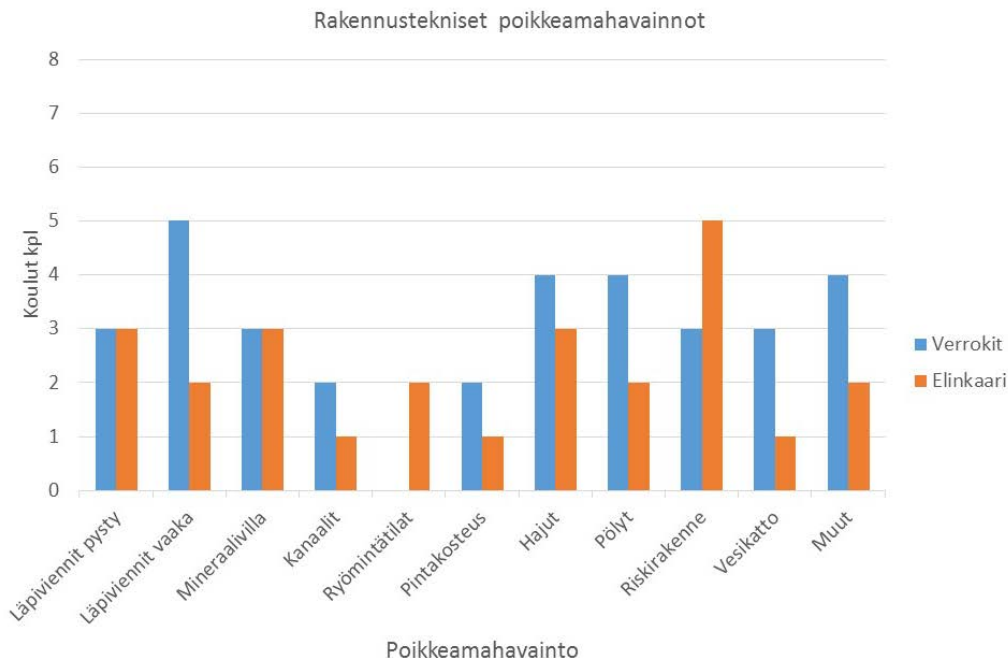
gian laskennallista tarvetta ja toteutunutta kulutusta matalaenergiapientaloissa ja tavanomaisissa pientaloissa. (Holopainen ym. 2015).

5.7 Rakennustekniset katselmukset

Poikkeamahavainnot liittyvät rakennusteknisiin tekijöihin, joilla voi olla vaikutusta sisäilman laatuun tai havaittu poikkeama on sellainen, jolla katsotaan olevan merkitystä sisäilman laadun kannalta tulevaisuudessa silloin, kun sitä ei korjata.

Poikkeamahavainnot pyrittiin ryhmittelemään siten, että poikkeamien laadun ja määrän eroja pystyttäisiin tarkastelemaan elinkaari- ja vertailukoulujen osalta (kuva 27). Havaintoja on kertynyt määrällisesti hyvin saman verran elinkaari- ja vertailukoulujen osalta. Rakennusteknisesti elinkaari- ja vertailukoulujen rakennusten välille ei saatu merkitseviä eroja tarkastelunäkökulmasta.

Suurempia eroja olisi voitu saada esimerkiksi tarkastelemalla peruskorjattujen ja uudisrakennusten poikkeamahavaintoja. Aineistossa on useita kohteita, joissa on uudisrakennus ja peruskorjattu vanha rakennus edustavat yhdessä yhtä kohdetta, joko elinkaarikoulua tai vertailukoulua.



Kuva 27. Poikkeamahavainnot liittyvät tekijöihin, joilla voi olla vaikutus sisäilman laatuun rakennuksissa ja tiloissa. Riskirakenne tarkoittaa tässä rakennetta, jonka lämpö- ja kosteustekninen toiminta on epävarmaa tai rakenteessa on vaurioituneita materiaaleja. Ryhmä muut pitää sisällään mm. rakenteiden ilmatiiviyden parantamiseen tähtävien toimenpiteiden, kuten tiivistyskorjaukset ja niissä havaitut laadunvarmistamis-, laatu- ja materiaalivalintoihin liittyvät puutteet tai poikkeamahavainnot.

Kohteissa, joissa on peruskorjattu vanha rakennus poikkeamahavainnot liittyivät mm. ennen peruskorjaussuunnittelua tehtyjen rakenneteknisten riskien (sisäilmaan liitetty) todentamisen puutteisiin, joissa oli kohdekohtaisesti eroja. Mm. osassa kohteista rakenteiden materiaalien kuntoon liittyviä tietoja (kuntotutkimustulokset, korjaustyöselostuksissa olevissa teksteissä tai tilaajalta saatujen tietojen perusteella), ei ollut määriteltä korjaussuunnittelun ja korjaustavan valinnan tueksi. Tai rakenteista oli saatettu tutkia vain silmin havaittavien vaurioiden kohdalla materiaalien vaurioita materiaalinäytteiden avulla, vaikka koko rakenneratkaisu (usein riskirakenne, joka kosteus- ja lämpöteknisesti toimimaton ja herkkä vaurioitumaan) oli samanlainen koko rakennuksessa. Toisaalta taas osassa korjauksissa oli päädytty kokonaan vanhan rakenteen purkamiseen (joko taloudellinen näkökulma tai mahdollisesti riskien vähentämiseen liittyvä näkökulma tai molemmat).

Peruskorjatuissa rakennuksissa oli päädytty joissakin kohteissa rakenteiden ilmatiiviyn parantamiseen vedeneristysmenetelmin (kohteet, joissa oli todettu rakennusmateriaaleissa vaurioita ja rakenteen lämpö- ja kosteusteknisessä toiminnassa puutteita). Tiivistyskorjausten laadussa, laadunvarmistusmenetelmissä ja seurannassa havaittiin puutteita. Laatuun liittyviä poikkeamia olivat esim. vedeneristysmateriaalin ja nauhojen kiinnityksen irtoaminen vastepinnoilta tai tiivistyksen puuttuminen joiltain pinnoilta.

Tiivistyskorjauksen laadunvarmistuksessa käytetään yleisesti merkkiainetutkimusta (RT-14-11197). Yhden kohteen osalla maanvastaisen tiiliseinän tiivistysten laadunvarmistamista oli tehty lämpökuvauksella, joka ei soveltunut ko. rakennetyypin laadunvarmistusmenetelmäksi. Lämpökuvauus tulisi tehdä riittävän rakennuksen alipaineistamisen yhteydessä, jotta rakenteiden tiiveyttä voidaan arvioida luotettavasti. Maanvastaisten seinärakenteiden tiiveyttä ei voida luotettavasti arvioida lämpökuvauksella, koska lämpötilaero ulkovaipan yli ei saa olla alle 15 °C (Rakennuksen lämpökuvauus, RT14-10850).

Tiivistetyn rakenteen toimintaa tulee seurata säännöllisin väliajoin (3-5 vuoden välein) uusittavalla merkkiainetutkimuksella (Asikainen & Peltola 2008). Suunnitelluista seurantatoimenpiteistä ei saatu tietoa kohteiden omistajilta.

Peruskorjattujen rakennusten kohdalla useassa kohteessa ongelmallisia olivat vanhat talotekniikan maanalaiset tai rakenteissa olevat talotekniikkakanaalit. Tarkasteluissa kohteissa maanvastaisissa tai -alaisissa kanaaleissa havaittiin usein mikrobipeäinen haju ja vaurioituneita materiaaleja. Usein myös kanaalissa olevien vanhojen talotekniikkaputkien ja viemäreiden katkaistut päät olivat usein tulppaamatta. Putket voivat toimia ilmayhteysreittinä kanaalista koulun tiloihin, silloin, jos ilmareittiä ei ole suljettu.



Peruskorjattujen rakennusten osalla havaittiin myös kosteutta tai irtovettä kellaritiloissa ja maanvastaisissa rakenteissa sekä kellari ja huoltoiloissa mikrobiperäistä hajua.

Yleisesti sekä uudisrakennusten että peruskorjattujen rakennusten osalla havaittiin epätiiviyyttä erilaisten rakenteellisten läpivientien kohdalla. Suunnitteluasiakirjojen mukaan kyseiset rakenteelliset läpiviennit oli kuitenkin suunniteltu tiivistettäväksi. Lisäksi tehtiin useita havaintoja rakennusaikaisesta pölystä ja jätteestä, jota oli yleensä alas laskettujen kattojen asennustiloissa ja erilaisissa koteloidissa.

Yleisesti havaittiin jonkun verran poikkeavia hajuja, jotka usein liittyivät maanalaisiin tiloihin, kanaaleihin tai ryömintätiloihin.

Taulukko 23. Poikkeamahavainnot kohteittain. Huomioitavaa on, että poikkeamahavainto koskee kohdetta kokonaisuudessaan, eikä tässä ole eritelty poikkeamahavaintoja mahdollisen peruskorjatun osan ja uudisrakennusosan (laajennus) osalta.

Poikkeama-havainto	E1	E2	E3	E4	E5	E6	V1	V2	V3	V4	V5	V6
Läpivienti pysty				x	x	x	x			x	x	x
Läpivienti vaaka				x			x	x	x		x	
Vesikatto						x		x		x	x	
Kanaali/huoltotunneli				x			x			x		
Mineraalivillakuitu		x	x	x			x		x	x		
Pölyt alakatto, kotelot		x		x			x	x	x	x		
Hajuhavainto	x	x	x				x		x	x	x	
Pintakosteus tai irtovesi	x								x		x	
Ryömintätila		x	x									
Riskirakenne	x	x	x		x		x			x	x	
Muu havainto			x		x	x	x	x		x	x	x

5.8 Haastattelut

Haastatellut rehtorit olivat keskimäärin yhtä tyytyväisiä vertailukouluissa kysyttyihin sisäympäristötekijöihin kuin rehtorit elinkaarikouluissa. Jos haastattelutuloksia verrataan peruskorjattujen koulujen kesken, niin elinkaarikoulujen rehtorit olivat keskimäärin hieman tyytyväisempiä kuin rehtorit kolmessa peruskorjatussa vertailukoulussa. Korkeimmat arvosanat rehtorit antoivat elinkaarikoulussa koulujen yleisestä viihtyvyydestä ja sisäilman laadusta ja vertailukouluissa valaistuksesta, huonelämpötilasta talvella ja yleisestä viihtyvyydestä. Elinkaarikoulujen rehtorit antoivat heikoimman arvosanan huonelämpötiloista ja vertailukouluissa ilmanvaihdon toiminnasta, jonka koettiin aiheuttavan viihtyvyyshaittaa tilojen käyttäjille. Ilmanvaihdon toimintahäiriöistä ja riittämättömästä ilmanvaihdosta on raportoitu myös aikaisemmin tehdyissä koulututkimuksissa (OAJ 2012, Kurnitski 1996).

Rehtorien mukaan kiinteistön ylläpitoa ja erityisesti kiinteistöhuollon palvelunopeutta ja kiinteistönhoitajien joustavuutta pidettiin pääosin parempana elinkaarikouluissa kuin kaupungin omaraahoitteisissa kouluissa. Siivouksen sisällyttämistä elinkaarisopimukseen pidettiin tärkeänä. Onnistuneeseen lopputulokseen on vaikuttanut elinkaarikouluissa mm. palveluntuottajan tuoma toisenlainen näkökulma koulurakennuksen toimintaan ja palveluntuottajan ja kaupungin selvä näkemys, mikä on hyvä lopputulos rakentamisessa ja ylläpidossa. Kiinteistön ylläpidolla koettiin olevan hyvä tahtotila asioiden hoitamiseen. Vertailukouluissa hyvään lopputulokseen arvioitiin vaikuttaneen mm. kouluun ja materiaaleihin satsaaminen ja henkilökunnan vaikutusmahdollisuudet suunnitteluun.

Tilaajien edustajat kokivat mahdollisuuden vaikuttaa suunnitteluun ja suunnittelun eri osa-alueet hieman myönteisemmin vertailukouluissa kuin elinkaarikouluissa. Kiinteistönhoito ja ylläpito koettiin keskimäärin parempana elinkaarikouluissa. Kuitenkaan tilaajan edustajien ja valvojien haastattelujen perusteella rakentamisen laadussa ei havaittu merkittävää eroa.

Elinkaarimanagerien haasteluissa arvioitiin että suunnitteluun voidaan vaikuttaa merkittävästi – suunnitteluratkaisuja voidaan muuttaa työn aikana. Talous on aina taustalla ja sovitut asiat on hoidettava. Huolto ja ylläpito sekä halu tehdä hyvää työtä ja sitoutua nähtiin tärkeässä roolissa. Myös elinkaarisopimuksien nähtiin kehittyneen, joskin sopimuksissa oli selviä virheitäkin. Palveluntuottajan valinta ja hyvä yhteistyö käyttäjien sekä rehtorin kanssa nostettiin tärkeäksi. Tilasuunnittelun ongelmaksi koettiin, että varastotilojen tarvetta ei ole aina huomioitu riittävästi.

Kiinteistönhuollon työnjohdon ja kiinteistönhoitajien haastatteluissa painotettiin koulujen sekä piha-alueiden helppo huoltoisuutta ja nykyisin koettiin osin myös olevan liikaa tekniikkaa.

LVI-puolen haastatteluissa korostui onnistuneeseen lopputulokseen pääsemiseksi heti alussa koulun suunnittelulle tiukka vaatimusten asettaminen: mitä halutaan ja mistä ei tingitä ja asioiden esittäminen selkeästi, koska koulun suunnittelu on vaa-tivaa. Tekniikan osalta eri haastatteluissa painotettiin yksinkertaista ja toimintavar-maa LVI-tekniikkaa, tiivistä yhteistyötä eri osapuolten välillä ja kaikkien osapuolten aitoa mukana olo suunnittelu- ja järjestelmäratkaisujen valinnassa. Huolto-organi-saatio olisi hyvä ottaa mukaan rakennusprosessiin jo luonnossuunnitteluvaiheessa.

Vahtimestarien haastatteluissa nousi esiin koulun ilmapiiiri, josta korostettiin yhteisöl-lisyyttä, sitoutuneisuutta, vastuunkantoa ja positiivisuutta. Rakennusvalvonnan roo-li koettiin tärkeäksi: "rakentamisen laatu on sama kuin valvonnan taso". Osin koettiin, että kiinteistönhuolto ei tiedä, kenen puoleen voisi kääntyä ongelmatilanteissa, jol-loin asioita tehdään väärin tai korjaustoimet jäävät tekemättä.

5.9 Koettu sisäympäristön laatu

Opettajat raportoivat sisäympäristön laadun olevan hieman parempi elinkaarikou-luissa kuin vertailukouluissa (kuvat 25–26). Opettajat raportoivat eniten häiritsevistä melusta, joka ylitti kouluissa vertailuaineistona käytetyn tason, joka on kerätty toimis-toympäristöstä (Reijula ja Sundman-Digert 2004). Lisäksi riittämättömästä/häikäise-västä valaistuksesta vertailukouluissa ja liian matalasta huonelämpötilasta elinkaari-kouluissa raportoitiin useimmin kuin työntekijät toimistoympäristössä. Haastatellut vertailukoulujen rehtorit antoivat saman arvosanan sisäympäristötekijöistä (keski-määrin 8,2) kuin rehtorit elinkaarikouluissa. Haastattelussa rehtoreilta kysyttiin myös kysymyksiä, kuten tilojen toiminnallisuus, yleinen viihtyvyys ja pintamateriaalit, joita ei ole sisäilmastokyselyssä. Koulujen meluhaitat eivät tulleet yleisesti esille rehtorei-den haastattelussa. Vuonna 2014 julkaistun suomalaisen tutkimuksen mukaan (Tu-runen ym. 2014) päivittäistä haittaa aiheuttavia sisäilmatekijöitä olivat melu ja tunk-kainen ilma. Tässä tutkimuksessa tunkkaisesta ilmasta valitettiin harvemmin kuin toimistoissa. Rehtoreiden mukaan jotkut opettajat tuulettivat luokkahuoneita avaa-malla hetkellisesti luokkahuoneen ikkunan, vaikka se ei ole kouluissa energiansääs-tösyiden takia sallittu. Liian matalasta ilmanlämpötilasta valitettiin hieman useammin elinkaarikouluissa kuin vertailukouluissa, vaikka mitattu ilman lämpötila oli keskimää-rin hieman korkeampi elinkaarikouluissa. Vastausprosentti oli kyselytutkimuksessa matala ollen elinkaarikouluissa 32 % ja vertailukouluissa 39 %, joka on huomioitava tulosten tulkinnessa.

5.10 Kyselyt

Rakennesuunnittelijoille, työmaavalvojoille ja urakoitsijoille tehtyihin kyselyihin saatiin vastauksia hyvin vähän, jolloin tuloksista ei voi tehdä luotettavasti yleistettäviä johtopäätöksiä.

Vastauksista käy ilmi kuitenkin, että pääsääntöisesti hankkeen eri osapuolten väliseen yhteistyöhön, sen laatuun ja määrään oltiin tyytyväisiä ja hankkeiden onnistuminen koettiin eri hankevaiheissa hyväksi.

Kyselyissä (rakennesuunnittelijat, työmaavalvojat, urakoitsijat) saaduissa vähäisissä vastauksissa esiin nousi, että osassa kohteissa:

- rakennesuunnittelussa puuttui rakenteiden työnaikaista satunnaista kastumista ja materiaalien kuivumisnopeutta koskevat huomiot
- rakennesuunnittelija ei tehnyt erillistä kosteudenhallintasuunnitelman laadintaa (Toisaalta, rakennesuunnittelija on voinut osallistua kosteudenhallinnan suunnitteluun ilman erillistä suunnitelmaakin.) Työmaavaiheessa erillinen kosteudenhallintasuunnitelma oli laadittu useimmissa kohteissa.
- työmaavalvonnassa ei pidetty valvontapäiväkirjaa sekä
- suunnitelmien ja työmaan välillä ilmeni merkittäviä ristiriitaisuuksia
- korjauskohteissa tehtiin yhteistyötä rakennesuunnittelijan ja kuntotukijan sekä sisäilma-asiantuntijan kanssa vaihtelevasti
- elinkaari ja vertailukouluissa oli asetettu sisäilmaston tavoitearvoiksi hyvä sisäilmastonlaatu luokka S2 tai tyydyttävä sisäilmaston laatu luokka S3
- rakennusfysikaalinen suunnitteluluokka oli määritelty vaativimpaan luokkaan RF1, kahden kohteen osalta, muissa kohteissa määrittelyä ei ollut tehty
- rakentamisen puhtausluokka oli määritelty luokkaan P2 tai jätetty määrittelemättä.

Arkkitehdeille ja pääsuunnittelijoille tehtyihin kyselyihin saatiin vastauksia pääkaupunkiseudulla kahdeksasta koulusta viideltä suunnittelijalta ja Pohjois-Savosta kaikilta neljältä suunnittelijalta. Vastausten mukaan omaan työhön oltiin tyytyväisiä, samoin yhteistyöhön muiden osapuolten kanssa keskimäärin. Pohjois-Savossa kuitenkin oli esiintynyt jonkun verran ongelmia yhteistyössä rakennusvalvonnan ja käyttäjien edustajien kanssa.

Yleisesti elinkaarikoulujen suunnittelijat ilmoittivat, että vastuista/riskeistä/ sanktioista/palkkioista sovittiin sopimuksissa, ja sopimuksiin kirjattiin jo tavoitearvot ja -tasot sekä vaativuusluokat.

Sisäilmastaselvitys oli yleensä pääsuunnittelijoiden käytössä. Yhdessä koulussa suunnittelija oli erityisen tyytyväinen siihen, että sisäilma-asioihin pystyttiin vaikuttamaan koko suunnittelun ajan.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksen tulokset tuovat uutta vertailutietoa sisäympäristön laadusta ja käyttäjien tyytyväisyydestä elinkaari- ja vertailukouluissa. Tutkimustuloksia arvioitaessa on kuitenkin huomioitava rajoittavana tekijänä pieni otoskoko.

Tulokset osoittivat, että laskettu energiatehokkuusluokka ja toteutunut energiankulutus voivat poiketa koulujen välillä merkittävästi. Koulujen tarpeenmukaisen ilmanvaihdon toimintaa ja ilmavirtojen epätasapainon syytä pitäisi selvittää kouluissa tarkemmin. Sisäilmasto-olosuhteita voidaan pitää tavanomaisena sekä elinkaari- että vertailukouluissa tutkittujen sisäilmatekijöiden osalta.

Sisäilman laatuun vaikuttavien rakennusteknisten tekijöiden osalta elinkaarihankkeina toteutettujen koulujen ja vertailukoulujen välillä ei havaittu merkitseviä eroja. Havaitut sisäilman laatuun vaikuttavat rakennustekniset poikkeamat liittyivät usein peruskorjattuun vanhaan rakennukseen eikä niinkään uudisrakennuksiin (laajennusosa). Peruskorjattujen vanhojen rakennusten osalta oli jo nyt havaittavissa korjauksiin, kunnossapitoon ja seurantaan liittyviä tarvittavia toimenpiteitä, joita ei havaittu yhtä laajasti uudisrakennusten osalla.

Rakennesuunnittelijoille ja rakennustyön valvojille tehdyissä kyselyissä nousi esiin tekijöitä, jotka olivat pääsuunnittelijoille tehtyjen kyselytulosten kanssa ristiriitaisia. Ristiriitaisia tietoja saatiin mm. sisäilmaston, rakennustyön puhtauden ja rakennusfysikaalisen suunnittelun tavoitetasoista tai niiden määrittelystä lähtötiedoissa. Tietojen ristiriitaisuus saattaa liittyä myös kyselyihin vastaavien tahojen vastaustarkkuuden vaihteluihin ja asioiden muistamiseen oikein.

Kyselyiden tulosten ja rakennusteknisten havaintojen sekä lähtötietojen perusteella näyttää kuitenkin siltä, että vanhojen rakennusten kohdalla ei vielä kukaan aina tehdä perusteellisia rakenne- ja kosteusteknisiä selvityksiä hankkeen suunnittelun lähtötiedoiksi, jolloin suunnittelussa ja toteutuksessa ei huomioida riittävästi sisäilman laatuun vaikuttavia rakennusteknisiä riskejä. Lisäksi hanke- ja suunnitteluvaiheessa tulisi tehdä enemmän yhteistyötä rakennesuunnittelijan, arkkitehdin tai pääsuunnittelijan sekä rakennuksen kunto- ja sisäilmaston laadun tutkijoiden kanssa, jotta rakennusterveyteen liittyvät tiedot ja osaaminen voitaisiin hyödyntää suunnittelussa ja toteutuksessa paremmin. Rakennusfysikaalisen suunnittelun yksi suunnittelun osa-alue on sisäilmavaatimukset ja terveellisyys, jonka toteuttamiseksi suunnitteluun (rakenne- ja pääsuunnittelu) tarvittaisiin myös osaamista rakennusterveyden ja kuntotutkimusten osa-alueilta.

Sisäilmaston tavoitearvojen, rakentamisen puhtausluokan ja rakennusfysikaalisen suunnittelun vaatavuustasojen tavoitteiden asetteluun ja suunnittelun sekä rakentamisen aikaisen kosteuden hallinnan osalta elinkaarikoulujen ja vertailukoulujen välillä ei havaittu eroja. Peruskorjattavien rakennusten osalta mm. elinkaarisopimuksissa tulisi olla määritelty tiedossa olevien riskien kohdalla (kuten rakenteisiin jätettävät

vauriot, tiivistyskorjausten toimivuus jne.) seurannan ja ylläpidon erityismäärittelyt.

Haastatellut elinkaari- ja vertailukoulujen rehtorit olivat melko tyytyväisiä koulujen sisäympäristön laatuun. Rehtorit antoivat keskiarvotarkastelujen perusteella huonoimmat arvosanat koulujen ilmanvaihdon toiminnasta ja parhaimmat arvosanat yleisestä viihtyvyydestä, valaistuksesta ja sisäilman laadusta. Opettajat raportoivat sisäympäristön laadun hieman parempana elinkaarikouluissa kuin vertailukouluissa. Yleisesti ottaen sisäympäristön laatu koettiin olevan parempi tutkimuksen kohteena olleissa kouluissa kuin mitä toimistoympäristöissä tehdyissä sisäilmastokyselyissä on yleensä raportoitu.

Melu oli yleisin raportoitu työympäristöhaitta kouluissa. Tämä häiritsevän melun haitta kuvaa ensisijaisesti vertailuaineistona käytettyjen toimistojen ja koululuokkien välistä toiminnallista eroa. Kouluissa opetuksen aikaisessa äänessä on paljon enemmän informaatioarvoa, kuin esimerkiksi toimistojen äänissä. Hyvin tiiviisti lähekkäin oltaessa voi syntyä häiriöksi koettavaa hälyä ja kolinaa, josta meluhaitan korostuminen aiheutuu. Hyvällä akustisella suunnittelulla näitä häiriöksi koettuja ääniä voitaisiin lieventää.

Liian matalasta huonelämpötilasta elinkaarikouluissa ja valaistuksesta vertailukouluissa raportoitiin haittoja hieman enemmän kuin vertailuaineistona käytetyssä toimistoympäristössä. Erot olivat kuitenkin hyvin pienet.

Vuosittaisten korjausten tarve 2–5 vanhoissa kouluissa ei ole suuri verrattuna vanhempiin kouluihin. Tämän vuoksi kiinteistöhuollon ja kunnossapidon vaikutus sisäympäristön laatuun ei välttämättä tullut esiin tutkituissa kouluissa. Vastaava tutkimus oli tarpeen toistaa samoissa kouluissa esimerkiksi 10–20 vuoden kuluttua. Jatkossa olisi hyvä selvittää perusteellisemmin suunnittelijoiden, työmaavalvojien ja urakoitsijoiden näkemyksiä elinkaarihankkeiden hanke- ja työvaiheista eri näkökulmista sekä sisäilman laatuun vaikuttavista suunnittelu, valvonta ja työmaan toteutuksen vaiheista ja niissä käytettävistä tiedoista.

Perinteisiin rakennuttamisen malleihin verrattuna elinkaarihankkeiden sopimusmenettelyt ovat monimutkaisempia ja työlämpiä, minkä lisäksi kuntien osaamisessa elinkaarihankkeiden toteutuksen osalta on puutteita. Näin ollen sopijaosapuolten yhteistyö elinkaarihankkeissa onkin erityisen välttämätöntä. Käytännössä elinkaarihankkeiden riskien jako nähdään julkisen sektorin ja yksityisen sektorin välillä yksipuoliseksi siten, että elinkaarisopimus siirtää suuremman osan palvelun tuottamiseen liittyvistä riskeistä yksityiselle sektorille. Jotta elinkaarimalli yleistyisi Suomessa, olisi elinkaarisopimuksen riskien jaosta tehtävä tasapuolisempi eri osapuolten välillä ja elinkaarisopimuksella saavutettava lisäarvo pitäisi olla konkreettisempi.

Tulosten perusteella rakentamisen, myös elinkaarirakentamisen, suunnittelu- ja toteutusprosessia sekä yhteistyötä voidaan edelleen kehittää, jotta sisäilmastoon liittyvät riskitekijät (erityisesti riskirakenteet ja rakennusautomaation hallinta) hallitaan paremmin ja ehkäistään mahdolliset sisäilmaongelmat.

LÄHTEET

Al-Sharif F, Kaka A. PFI/PPP topic coverage in construction journals. In: Khosrowshahi F (Ed.), 20th Annual ARCOM Conference, 1–3 September 2004, Heriot Watt University. Association of Researchers in Construction Management; Vol.1:711–719. <http://learn.tsinghua.edu.cn/homepage/2002990155/PPPtopicCoverageInConstructionMgmtJournals.pdf> [accessed 27th September, 2015].

Andersson K. Epidemiological Approach to Indoor Problems. *Indoor Air* 1998;8(S4):32–39.

Annesi-Maesano I, Baiz N, Banerjee S, Rudnai P, Rive S. Indoor air quality and sources in schools and related health effects. *Journal of Toxicology and Environmental Health* 2013, Part B 16: 491–550.

Asikainen V., Peltola S. (toim). Sisäilmaongelmaisten koulurakennusten korjaaminen. Opetushallitus 2008.

Bakó-Biró Zs, Clements-Croome D J, Kochhar N, Awbi H B, Williams M J. Ventilation rates in schools and pupils' performance. *Building and Environment* 2012;48:215–223. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311002617> [accessed 27th September, 2015].

Bing L, Akintoye A, Edwards P J, Hardcastle C. The allocation of risk in PPP/PFI construction projects in the UK. *International Journal of Project Management* 2005; 23:25–35. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786304000493> [accessed 27th September, 2015].

EPBD. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of building (recast). *Official Journal of European Union* 2010;153:13–34. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF> [accessed 27th September, 2015].

Espoon kaupunki. Koulurakennusten investoinnit 2000–2018. Espoo 2013. <http://www.espoo.fi/download/noname/%7B5D0ABA79-89B3-41C0-B045-2867614F7C13%7D/42486> [accessed 27th September, 2016].

FINLEX. Laki rakennuksen energiatodistuksesta. Helsinki 2007. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2007/20070487> [ladattu 30.9.2016].

FINLEX. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. 545/2015. Helsinki 2015. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545#Pipdp3732624>

Forrer J, Kee J E, Newcomer K E, Boyer E. Public-Private Partnerships and the Public Accountability Question. George Washington University. Public Administration Review 2010:475–484. <http://sites.duke.edu/niou/files/2011/05/Forrer-Lee-Newcomer-and-Boyer-Public-Private-Partnership-and-the-Public-Accountability-Question.pdf> [accessed 27th September, 2015].

Garvin M, Gross M. Identification, Characterization and Analysis of Selected Research on Transportation Public-Private Partnerships from 1997–2010. Proceedings – EPOC 2012 Conference. Working Paper Proceedings. Engineering Project Organizations Conference. Rheden, July 10–12, The Netherlands, 2012. http://epossociety.org/EPOC2012/Papers/Garvin_Gross.pdf [accessed 27th September, 2015].

Holopainen R, Salmi K, Kähkönen E, Pasanen P, Reijula K. Primary energy performance and perceived indoor environment quality in Finnish low-energy and conventional houses. Building and Environment 2015;87:92-101. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315000359> [accessed 27th September, 2015].

Holopainen R. Rehtorin haastattelu suomen ensimmäisessä elinkaarikoulussa 27.1.2015 Ilmatieteen laitos. Ilmatieteen laitoksen avoin data. Ilmatieteen laitos 2016. <https://ilmatieteenlaitos.fi/avoin-data> [ladattu 30.9.2016].

Ilmatieteen laitos. Lämmitystarveluku eli astepäiväluku. Ilmatieteen laitos 2016. <http://ilmatieteenlaitos.fi/lammitystarveluvut> [ladattu 30.9.2016].

Jyväskylän kaupunki. Huhtasuon koulun, erityiskoulun ja päiväkodin elinkaarihanke. Jyväskylä 2013. <http://www.jkl.fi/tilapalvelu/huhtasuo> [accessed 27th September, 2016].

Kaivomestari. PPP-hanke on julkisen sektorin yksityisen yhteistyöhanke. Espoo 2016. <http://www.kaivomestari.fi/ppp-hanke> [ladattu 30.9.2016].

Kuopion kaupunki. Kuopion elinkaarikohteiden ja peruskaupungin kohteiden vertaailua taloudellisesta näkökulmasta. Kuopio 2015. <http://publish.istekkipalvelut.fi/koukous/2015297237-4-1.PDF> [ladattu 30.9.2016].

Kurnitski J, Palonen J, Enberg S, Ruotsalainen R. Koulujen sisäilmasto-rehtorikysely ja sisäilmastomittaukset. Teknillinen korkeakoulu, Konetekniikan osasto, LVI-tekniikan laboratorio, B43. Espoo, 1996.

Momentive. Decamethylcyclopentasiloxane (D5). Product Stewardship Summary. 2015. www.momentive.com [23.9.2016]

Motiva. Palvelusektorin ominaiskulutuksia. Motiva 2016. http://www.motiva.fi/toimialueet/energiakatselmustoiminta/tem_n_tukemat_energiakatselmukset/tilastotieto_katselmuksista/palvelusektorin_ominaiskulutuksia [ladattu 30.9.2016].

Nunes R.A.O., Branco P.T.B.S., Alvim-Ferraz M.C.M., Martins F.G. and Sousa S.I.V. Gaseous pollutants on rural and urban nursery schools in Northern Portugal. *Environmental Pollution* 2015 (Article in press) <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749115003516> [10.9.2015].

OAJ. Opetusalan sisäilmaselvitys. Opetusalan Ammattijärjestö. Helsinki, 2012. <http://www.oaj.fi/cs/oaj/Esitteet%20ja%20julkaisut> [accessed 27th September, 2015].

Oulun kaupunki. Haukiputaan alakoulun uudisrakennus toteutetaan elinkaarimallilla. Oulu 2013. http://www.ouka.fi/oukauutiset/-/asset_publisher/s4X4/content/id/2936596 [ladattu 30.9.2016].

Pudasjärven kaupunki. Hirsikampuksen taustaa. Pudasjärvi 2016. <http://www.pudasjarvi.fi/hirsikampuksen-taustaa-hirsikampus> [ladattu 30.9.2016].

Putus T, Tuomainen A, Rautiala S. 2004. Chemical and microbial exposures in a school building: Adverse health effects in children. *Archives of Environmental Health* 59: 194-201.

Rakennustietosäätiö. Liike- ja palvelukiinteistön kuntoarvio. Kuntoarvioijan ohje. 2012. RT 18-11086.

RakMK D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Määräykset ja ohjeet 2012. ympäristöministeriö. Rakennetun ympäristön osasto. Helsinki 2011. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf

Reijula K, Sundman-Digert C. Assessment of indoor air problems at work with a questionnaire. *Occupational Environmental Medicine* 2004;61:33–38.

Reijula K, Ahonen G, Alenius H, Holopainen R, Lappalainen S, Palomäki E, Reiman M. Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. Helsinki, 2012. https://www.eduskunta.fi/FI/tietoaeduskunnasta/julkaisut/Documents/trvj_1+2012.pdf [accessed 27th September, 2015].

Roehrich J K, Lewis M A, George G. Are public-private partnerships a healthy option? A systematic literature review. *Social Science & Medicine* 2014;113:110–119. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277953614002871> [accessed 27th September, 2015].

Salonen H. Indoor air contaminants in office buildings. Väitöskirja, Kuopion yliopisto. People and Work Research Reports 87. Työterveyslaitos, Helsinki 2009.

Sisäilmastoluokitus 2008. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS 2008. Julkaistu myös LVI 05-10440, RT 07-10946, KH 27-00422 ja Ratu 437-T kortteina.

Smedje G. and Norbäck D. Irritants and allergens at school in relation to furnishing and cleaning. *Indoor Air* 2001;11: 127-133.

STM 2003. Asumisterveysohje. Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki 2003.

Tang L, Shen Q, Cheng E W L. A review of studies on Public-Private Partnership projects in the construction industry. *International Journal of Project Management* 2010;28:683–694. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263786309001422> [accessed 27th September, 2015].

Tang X., Misztal P.K., Nazaroff W.W. and Goldstein A.H. Siloxanes are the most abundant volatile organic compound emitted from engineering students in a classroom. *Environ Sci Technol Lett* 2015;2: 303-307.

Tieva A, Junnonen J-M. Proactive contracting in Finnish PPP projects. *International Journal of Strategic Property Management* 2009;13:219–228. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.3846/1648-715X.2009.13.219-228> [accessed 27th September, 2015].

Turunen M, Toyinbo O, Putus T, Nevalainen A, Shaughnessy R, Haverinen-Shaughnessy U. Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2014;217:733–739. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438463914000200> [accessed 27th September, 2015].

Työterveyslaitos. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. 2012. Tavoitetaso TY-01-2012. www.ttl.fi/tavoitetasot

LIITTEET

1. Lämpötilamittaukset
2. Hiilidioksidimittaukset
3. TVOC-pitoisuudet
4. Erot sopimusten palvelukuvauksissa

LIITE 1. Taulukko 1. Ilman lämpötila elinkaarikouluissa.

Ajankohta	Talvi (jouluku–helmikuu)		Kevät (maalisku–toukokuu)		Oppilaiden määrä
	Keskiarvo [°C], (SD)	Vaihteluväli [°C]	Keskiarvo [°C], (SD)	Vaihteluväli [°C]	
E1	22,2 (0,5)	20,9–24,8	22,5 (0,7)	20,9–25,3	
Opettajienhuone					
E1 Luokka 1	21,9 (0,7)	22,3–23,7	22,3 (0,9)	20,3–30,0	21
E1 Luokka 2	21,9 (0,6)	20,4–30,4	22,9 (0,8)	20,8–25,7	22
E1 Luokka 3	–	–	20,2 (1,0)	18,0–24,9	20
E1 Liikuntasali	18,5 (0,9)	16,5–23,0	19,5 (0,7)	17,8–24,6	
E2	21,5 (0,5)	19,9–24,1	21,3 (0,9)	18,9–24,7	
Opettajienhuone					
E2 Luokka 1	20,2 (0,8)	18,8–23,6	22,8 (1,5)	19,4–32,3	20
E2 Luokka 2	21,3 (1,4)	18,8–23,9	21,4 (1,0)	19,1–24,0	21
E2 Luokka 3	22,5 (0,8)	21,1–25,2	21,3 (0,8)	19,6–24,2	20
E2 Liikuntasali	20,8 (0,4)	19,4–25,2	20,5 (0,9)	17,8–22,9	
E3	21,4 (0,4)	11,9–21,2	22,1 (0,4)	21,3–22,9	
Opettajienhuone					
E3 Luokka1	20,9 (0,7)	11,3–22,8	21,4 (0,5)	19,6–23,3	29
E3 Luokka 2	21,2 (0,6)	11,7–23,4	21,7 (0,6)	20,8–23,5	32
E3 Luokka 3	22,2 (0,5)	12,3–24,4	22,6 (0,5)	21,8–24,3	30
E3 Liikuntasali	22,1 (0,5)	12,2–23,3	22,2 (0,4)	21,4–23,4	



E4	21,2 (0,4)	18,9–23,7	21,4 (0,6)	18,9–24,1	
Opettajienhuone					
E4 Luokka 1	21,2 (0,4)	19,0–24,4	21,7 (0,7)	18,8–27,7	23
E4 Luokka 2	20,4 (0,4)	18,1–22,4	20,5 (0,4)	19,6–22,1	22
E4 Luokka 3	19,9 (0,4)	18,0–22,1	–	–	22
E4 Liikuntasali	21,4 (0,5)	18,0–23,4	21,6 (0,3)	20,5–23,4	
E5	20,0 (0,5)	18,8–21,9	21,2 (1,2)	19,5–25,7	
Opettajienhuone					
E5 Luokka1	21,3 (0,7)	18,8–24,6	22,2 (1,1)	15,3–26,6	26
E5 Luokka 2	22,5 (0,6)	20,7–24,5	22,8 (0,6)	15,2–25,8	26
E5 Luokka 3	20,8 (1,1)	18,8–25,2	22,4 (1,3)	15,1–28,4	26
E5 Liikuntasali	21,0 (0,5)	19,7–24,2	21,6 (0,5)	20,6–23,9	
E6	20,7 (0,4)	19,7–22,3	21,3 (0,3)	20,3–24,1	
Opettajienhuone					
E6 Luokka1	20,3 (0,7)	18,6–22,7	20,7 (0,9)	18,9–24,4	19
E6 Luokka 2	20,0 (0,4)	19,2–22,1	20,9 (0,7)	19,2–23,4	22
E6 Luokka 3	20,6 (0,8)	19,2–23,4	21,7 (1,1)	19,0–26,0	25
E6 Liikuntasali	21,1 (0,5)	19,2–23,4	21,7 (0,4)	20,5–24,4	

LIITE 1. Taulukko 2. Ilman lämpötila vertailukouluissa.

Ajankohta	Talvi (joulu–helmikuu)		Kevät (maalis–toukokuu)		Oppilaiden määrä
	Keskiarvo [°C], (SD)	Vaihteluväli [°C]	Keskiarvo [°C], (SD)	Vaihteluväli [°C]	
V1 Opettajien- huone	20,6 (0,4)	19,5–22,0	22,0 (1,3)	20,4–34,2	
V1 Luokka 1	19,3 (1,7)	15,8–23,5	21,1 (1,2)	17,3–24,9	30
V1 Luokka 2	18,4 (1,1)	15,9–22,6	20,6 (1,8)	17,3–28,7	26
V1 Luokka 3	18,9 (1,1)	16,7–22,5	20,9 (1,3)	16,8–30,2	21
V1 Liikuntasali	17,8 (0,9)	14,9–20,3	18,5 (0,6)	16,3–21,4	



V2	21,3 (0,5)	20,1–23,4	22,3 (1,3)	19,6–23,6	
Opettajienhuone					
V2 Luokka 1	–	–	21,6 (0,5)	19,3–25,4	17
V2 Luokka 2	–	–	–	–	21
V2 Luokka 3	21,4 (0,7)	20,1–24,4	20,8 (1,0)	18,9–25,0	20
V2 Liikuntasali	21,7 (0,5)	19,9–24,2	21,5 (0,5)	19,9–24,8	
V3	–	–	–	–	
Opettajienhuone					
V3 Luokka 1	22,6 (0,6)	16,3–27,0	–	–	18
V3 Luokka 2	21,3 (0,6)	19,7–23,5	22,0 (0,5)	19,3–25,6	27
V3 Luokka 3	21,3 (0,6)	20,3–24,9	22,0 (0,7)	20,7–26,8	24
V3 Liikuntasali	17,8 (0,9)	6,2–21,0	19,2 (1,4)	16,7–24,5	
V4	20,9 (0,8)	11,4–22,7	21,5 (0,8)	19,9–24,8	
Opettajienhuone					
V4 Luokka 1	21,5 (0,4)	11,6–23,8	21,0 (0,9)	19,7–26,5	32
V4 Luokka 2	23,8 (0,6)	22,1–29,3	23,3 (0,8)	22,1–36,6	25
V4 Luokka 3	21,3 (0,8)	11,3–23,6	21,0 (0,7)	19,9–23,3	34
V4 Liikuntasali	18,7 (0,6)	10,1–21,8	20,0 (0,6)	18,8–23,4	
V5	–	–	22,7 (0,8)	20,7–30,6	
Opettajienhuone					
V5 Luokka 1	20,6 (0,4)	19,4–22,0	21,4 (0,7)	20,4–24,3	17
V5 Luokka 2	20,0 (0,7)	18,4–22,1	21,5 (0,7)	19,5–32,5	16
V5 Luokka 3	19,2 (0,7)	17,2–21,1	20,9 (1,1)	19,2–24,7	24
V5 Liikuntasali	19,3 (0,6)	17,5–21,6	20,5 (0,5)	19,3–22,0	
V6	–	–	–	–	–
Opettajienhuone					
V6 Luokka 1	19,4 (0,8)	17,9–24,3	21,0 (1,6)	18,8–31,3	22
V6 Luokka 2	19,8 (0,6)	18,3–23,9	21,8 (1,3)	19,7–30,0	28
V6 Luokka 3	20,6 (0,4)	19,3–22,4	20,8 (1,0)	18,6–25,9	18
V6 Liikuntasali	20,7 (0,4)	19,5–22,4	20,5 (0,5)	19,2–23,7	



LIITE 2. Taulukko 1. Ilman hiilidioksidipitoisuus ja paine-ero ulkoilmaan nähden elin-
kaarikouluissa.

	CO₂ pitoisuus keskiarvo [ppm], (SD)	CO₂ pitoisuus vaihteluväli [ppm]	Paine-ero keskiarvo [Pa], (SD)	Paine-ero vaihteluväli [Pa]	mittaukset aikavälillä
E1 Luokka 1	530 (122)	380–900	–	–	18.11–
E1 Luokka 2	640 (163)	410–1 700	0 (1)	-4–8	2.12.2014
E1 Liikuntasali	510 (98)	380–970	–	–	
E2 Luokka 1	520 (111)	390–920	–	–	16.2–
E2 Luokka 2	520 (120)	390–880	-10 (6)	-46–5	27.3.2015
E3 Luokka 1	610 (166)	380–1 320	-12 (26)	-134–98	6.11.2014–
E3 Luokka 2	–	–	-5 (5)	-134–31	29.5.2015
E3 Luokka 3	710 (217)	380–1 900	-12 (17)	-134–98	
E3 Liikuntasali	–	–	–	–	
E4 Luokka 1	480 (103)	380–880	–	–	23.4–
E4 Liikuntasali	420 (53)	380–730	-6 (11)	-123–202	14.5.2015
E5 luokka 1	696 (212)	370–3077	–	–	1.12.2015–
E5 luokka 2	544 (160)	381–2404	–	–	30.4.2016
E6 Opettajienhuone	–	–	-11 (10)	-47–13	15.9– 29.10.2015
E6 liikuntasali	510 (101)	395–925	–	–	



LIITE 2. Taulukko 2. Ilman hiilidioksidipitoisuus ja paine-ero ulkoilmaan nähden vertailukouluissa.

	CO₂ pitoisuus keskiarvo [ppm], (SD)	CO₂ pitoisuus vaihteluväli [ppm]	Paine-ero keskiarvo [Pa], (SD)	Paine-ero vaihteluväli [Pa]	mittaukset aikavälillä
V1 Luokka 1	600 (175)	380–1 590	-7 (38)	-267–177	9.10–
V1 Luokka 2	520 (122)	380–960	-23 (44)	-174–21	14.11.2014
V2 Luokka 1	520 (116)	380–830	-16 (22)	-203–144	9.1–16.2.2015
V2 Liikuntasali	450 (56)	380–710	–	–	
V3 Luokka 1	500 (133)	380–990	-52 (55)	-192–7	7.3–23.4.2015
V3 Luokka 2	630 (150)	390–950	–	–	
V3 Liikuntasali	470 (51)	390–650	–	–	
V4 Luokka 1	–	–	-6 (22)	-133–99	17.10.2014–
V4 Luokka 2	510 (147)	380–1 830	-7 (28)	-100–100	29.5.2015
V4 Liikuntasali	470 (106)	380–1 300	–	–	
V5 luokka 1	487 (127)	378–1045	-7 (11)	-150–66	1.12–29.4.2016
V5 luokka 2	611 (150)	384–1269	-6 (24)	-150–100	
V5 luokka 3	539 (115)	393–994	-9 (5)	-150–1	
V6 luokka 1	520 (104)	410–820	–	–	16.9–
V6 luokka 2	–	–	-6 (18)	-74–85	29.10.2015
V6 liikuntasali	440 (43)	400–760			
V6 opettajienhuone	–	–	-9 (4)	-79–25	



Liite 3. Taulukko 1. Mitatut TVOC-pitoisuudet ja merkittävimpien yhdisteiden pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) elinkaarikouluissa päivällä ja yöllä. Taulukossa on esitetty joko mitausten keskiarvo tai vaihteluväli kussakin koulussa.

	Koulu E1		Koulu E2		Koulu E3		Koulu E4		Koulu E5		Koulu E6	
	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö
TVOC	35-91	55-127	29-200	51-85	30-348	311-644	20-171	59-82	22-142	70-100	34-116	94-326
Aldehydit ja ketonit												
Bentsaldehydi	2-4	2-5	2-3	3	1-2	2	1-2	2	1-2	1	0,6-1	1
Dekanaali	2-5	3	2-6	4-5	2-6	nd-10	1-3	2-3	2-5	4-5	2-4	4-5
Heksanaali	1-5	4-9	1	2-3	1-2	6	nd-1	3-5	1	5	1	3-4
Nonanaali	3-9	4-9	3-6	5-6	2-6	1-6	1-3	3	6-8	13-18	4-8	13-16
Alkoholit												
2-etyyli-1-heksanoli	nd-1	nd-1	nd-1	nd-2	nd-2	3-4	nd-1	nd	nd-1	2	4-14	13-52
Aromaattiset hiilivedyt												
Tolueeni	1-2	1-2	1-2	1	1	1-3	1-2	3	1	2	1	1
Ksyleeni	nd-3	1-5	nd-1	nd-1	nd-1	1-4	nd-3	2-5	nd-1	2	nd-1	1

Terpeenit													
Alfapineeni	0,3-5	4-6	1-2	3-6	4-18	45-71	1	7	0,3-2	3	1-2	1-5	
3-kareeni	nd-3	2-3	nd-1	1-3	2-12	23-40	nd-1	3	nd-1	1-2	0,2-1	0,4-3	
Limoneeni	nd-20	3-6	1-46	2-19	1-4	12-16	1-18	2-26	nd-71	1-22	0,3-2	1-14	
Hapot													
Bentsoehappo	2-5	2-5	2-4	1	1-4	6-11	nd-9	nd	nd	nd	nd	nd	
Dodekaanihappo	nd	nd-9	nd	nd	nd	nd-66	nd-36	nd	nd	nd	nd	nd	
Tetradekaanihappo	nd-1	nd-4	nd	nd	nd	nd-82	nd-33	nd	nd	nd	nd	nd	
n-heksadekaanihappo	nd-10	nd	nd	nd	nd	nd-127	nd-50	nd	nd	nd	nd	nd	
Muut yhdisteet													
D5	2-15	2-3	2-159	3-4	4-234	6-21	3-58	5-7	1-18	2	1-21	1-2	
TXIB	nd	nd	1-4	2-3	2-32	7-55	nd	nd	1-3	1-3	nd	2-3	

D5 = dekametyylisyklopentaaanisiloksaani; nd = ei havaittu; TXIB = 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatti.

Liite 3. Taulukko 2. Mitatut TVOC-pitoisuudet ja merkittävimpien yhdisteiden pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vertailukouluissa päivällä ja yöllä. Taulukossa on esitetty joko mitausten keskiarvo tai vaihteluväli kussakin koulussa.

	Koulu V1		Koulu V2		Koulu V3		Koulu V4		Koulu V5		Koulu V6	
	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö	Päivä	Yö
TVOC	15-43	30-32	37-78	33-45	24-291	34	37-154	35-59	13-105	29-119	13-155	47-76
Aldehydit ja ketonit												
Bentsaldehydi	1-2	1-2	2-3	2-3	1-3	3	1-2	2	1	nd-1	1	1-2
Dekanaali	nd-3	1-2	2-4	2-3	2-4	3	1-2	3-4	3-5	5	2-4	3-4
Heksanaali	nd-1	1	1-2	2-4	1-3	3	nd-1	2-3	nd-1	1-5	nd-1	2-3
Nonanaali	1-2	2	2-5	4	3-5	3	1-2	4-5	2-5	6-9	1-4	3-6
Alkoholit												
2-etyyli-1-heksanoli	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd-1	1-3	nd-1	1
Aromaattiset hiilivedyt												
Tolueeni	1-2	1	1	1	1	1	2-4	1-2	1	1-2	1	1
Ksyleeni	1-3	1	nd-1	1	nd-1	1	1-2	1	nd-1	1	nd-0,4	1-4

Terpeenit													
Alfapineeni	0,3-1	1-2	1	1-2	1-3	6	1-2	3-4	nd-1	1-4	0,3-1	2-5	
3-kareeni	nd-1	nd-1	nd-1	nd-1	nd-2	2	nd-1	2-3	nd-0,4	nd-1	nd-0,2	1	
Limoneeni	0,2-4	1-3	1-28	1-15	nd-187	4	1-68	2-4	nd-1	nd-25	0,1-116	2	
Hapot													
Bentsoehappo	nd-2	1-3	2-5	2-3	1-4	3	nd-0,4	nd-4	nd	nd	nd	nd	
Dodekaanihappo	nd	nd-6	nd-3	nd	nd	nd	nd	nd-5	nd-1	nd	nd	nd	
Tetradekaanihappo	nd-1	nd-4	nd	nd	nd	nd	nd	nd-3	nd	nd	nd	nd	
n-heksadekaanihappo	nd-8	nd	nd-3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	
Muut yhdisteet													
D5	2-260	1-3	8-35	2	3-58	2	9-118	2-3	0,4-84	1-5	2-26	1	
TXIB	nd-1	nd-1	1-3	2	2-3	3	nd-1	1	1	1	1-2	1-2	

D5 = dekametyylisyklopentaaanisiloksaani; nd = ei havaittu; TXIB = 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatti.

Liite 4. Taulukko 1. Eroja pääkaupunkiseudun ja Pohjois-Savon elinkaarisopimusten palvelukuvauksissa.

Pääkaupunkiseutu	Pohjois-Savo
<p>Asiakastyytyväisyystutkimus</p> <p>*Palveluntuottaja on velvollinen suorittamaan omalla kustannuksellaan asiakastyytyväisyyskyselyn kunkin kohteen osalta erikseen ennen kohteen palvelujakson käyttövuoden loppumista ja sen jälkeen vuosittain koko palvelujakson ajan.</p> <p>Käyttäjätyytyväisyyskysely</p> <p>*asiakastyytyväisyyskyselyjen perusteella sopijapuolet sitoutuvat suorittamaan toisilleen kohdekohtaiset korvaukset niistä koskevien edellytysten täytyessä (=palkkiot/sanktiot):</p> <p>Käytettävyysspuutteeseen reagointi</p> <p>*Jos Palveluntuottaja ei tee ilmoitusta tunnin sisällä helpdesk-ilmoituksen kirjaamisesta, on alueen Käytettävyysspuutteellinen</p> <p>Sisäilmasto-ongelmat</p> <p>*viittaus sopimuksen mukaiseen sisäilmastoon tilojen olosuhteiden osalta</p>	<p>Asiakastyytyväisyystutkimus</p> <p>*Palveluntuottajan tulee teettää asiakastyytyväisyystutkimus Yhteistyöryhmän määrittelemien väliajoin. Kaupungilla on oikeus edellyttää asiakastyytyväisyystutkimuksen teettämistä vuosittain.</p> <p>Käyttäjätyytyväisyyskysely</p> <p>*Mikäli Palveluntuottaja ei ole tehnyt kyseisen vuoden käyttäjätyytyväisyyskyselyä, vähennetään Palvelumaksusta Palvelutasopuutekertimen 2 mukainen Korkean tärkeystason palvelutasovähennys.</p> <p>*Käyttäjätyytyväisyyskyselyn vastausmäärän tulee olla vähintään 15 vastausta</p> <p>*Jos käyttäjätyytyväisyysuhde on alle 60 %, tulee Palveluntuottajan käynnistää sisäinen tarkastus, jossa otetaan kantaa matalaan käyttäjätyytyväisyyteen, ja ehdotetaan toimenpiteitä käyttäjätyytyväisyysuhteen parantamiseen.</p> <p>Käytettävyysspuutteeseen reagointi</p> <p>*Jos Palveluntuottaja ei tee tulleista ilmoituksista kuluvaan päivän aikana (arkisin normaalin työaikana tulleet ilmoitukset) tai seuraavana päivänä klo. 10 mennessä (illalla/ viikonloppuna tulleet ilmoitukset) ilmoitusta, on alueen Käytettävyysspuutteellinen</p> <p>Sisäilmasto-ongelmat</p> <p>*palvelukuvauksen osana erillinen liite: kaupungin menettelytapaohje sisäilmasto-ongelmissa</p>

Sisäilmaolosuhteet

*epäselvässä tilanteessa, lähinnä sisäilma-ongelmissa, tulee palveluntuottajan teettää tutkimus kolmannen osapuolen toimesta

Koulun tarvitsemat suunnitelmat

*palveluntuottajan tulee laatia suunnitelmat

Jätehuolto

*palveluntuottaja vastaa kaikista jätehuollon tiloista ja niiden varusteista. Tilaa ja liittää jätteiden kuljetuksen omiin sopimuksiinsa ja vastaa jätteiden kuljetuksen toimivuudesta

*Tilaa maksaa kaikki tilaajan ongelmajätteen hävittämisestä aiheutuvat jätemaksut

*Palveluntuottaja toimittaa ongelmajätteensä keräyspisteeseen ja koulujen ongelmajätteet pois kerran lukukaudessa

*Palveluntuottaja järjestää jätehuollon, tilat ja astiat jätteidenkeruuta varten

*Palveluntuottaja huolehtii, että jätteiden lajittelu ja varastointi on mahdollista

Sisäilmaolosuhteet

*Epäselvässä tilanteessa kaupungin tulee esittää näyttö ongelman olemassa olost

Koulun tarvitsemat suunnitelmat

*palveluntuottajan tulee osallistua ja avustaa kaupunkia suunnitelmien laatimisessa

Jätehuolto

*palveluntuottaja järjestää siivouspalveluja tuottaessaan roskien keräyksen kiinteistössä sijaitsevaan jätteiden keräyspisteeseen ja siitä edelleen kunnalliselle jätteenkäsittelylaitokselle valitsemallaan laillisella menettelytavalla.

*kaupunki järjestää jätteiden poiskuljetuksen Palveluntuottajan järjestämästä jätekeräyspisteestä sekä jätteiden loppusijoituksen lukuun ottamatta ongelmajätteitä

*Palveluntuottaja opastaa ja valvoo kierrätystä kaupungin vaatimusten mukaisesti. *Palveluntuottaja pyrkii edistämään kierrätystä omilla toimillaan.

*kaupunki järjestää kohteiden paperinkeräyksen

*kaupunki järjestää riittävästi jätteenkeräysastioita

*kaupunki järjestää luottamuksellisen jätteen poistamisen

*Kohteissa syntyvän lääkejätteen hävittäminen kuuluu kaupungille - ei Palveluntuottajalle



Kuntoarviot, palveluntuottaja järjestää

*Kohdekohtaisesti 9 vuotena kohdekohtaisen valmistumisen jälkeen

*Kohdekohtaisesti 15 vuotena ensimmäisen kohteen valmistumisen jälkeen *Kohdekohtaisesti 21 vuotena ensimmäisen kohteen valmistumisen/vastaanoton jälkeen

Energia ja kunnallistekniikka

*kaupunki tekee liittymissopimukset ja maksaa liittymismaksut kunnallisteknisiin palveluihin liittyen

Avainrekisteri

*vastuu avainrekisteristä on palveluntuottajalla

Ulkoalueiden hoidossa ja ylläpidossa talvella on selkeitä eroja johtuen maantieteellisistä ja ilmastollisista syistä.

Kuntoarviot, palveluntuottaja järjestää

*Kohdekohtaisesti 9 vuotena kohdekohtaisen valmistumisen jälkeen

*Kohdekohtaisesti 13 vuotena ensimmäisen kohteen valmistumisen jälkeen

*Kohdekohtaisesti 18 vuotena ensimmäisen kohteen valmistumisen/vastaanoton jälkeen

Energia ja kunnallistekniikka

*Palveluntuottaja organisoi ja ostaa kaikki kunnallistekniset palvelut. Palveluntuottaja solmii kaikki palveluja koskevat sopimukset ja maksaa kaikki niihin sisältyvät kustannukset ja lakisääteiset maksut.

Avainrekisteri

*vastuu avainrekisteristä on kaupungilla



Liite 4. Taulukko 2. Eroja pääkaupunkiseudun ja Pohjois-Savon elinkaarisopimusten palvelukuvauksissa.

	Pohjois-Savo/ pääkaupunkiseutu	Pohjois-savo/ pääkaupunkiseutu
Tilojen käytettävyyksivaatimukset	Väliaikainen korjaus	Lopullinen korjaus
1. Olla turvallisia ja terveellisiä	Välitön	2 työpäivää
2. Vastata kaikkia käyttöön olennaisesti vaikuttavia lakeja, viranomaismääräyksiä ja asetuksia,	Välitön	2 työpäivää
3. Olla olemassa suunnitelmien mukaisesti	Olennaisten suunnitelmien osalta välittömästi / Välitön	5 työpäivää / 2 työpäivää
4. Olla saavutettavissa tilavaatimusten ja sovittujen käyttöaikojen mukaisesti	Välitön	2 työpäivää
5. Olla varustettuja palovaroittimin /-ilmoittimin ja lakien, asetusten ja määräysten mukaisella sammutuskalustolla	Välitön	2 työpäivää
6. Olla varustettuja lakien, asetusten ja määräysten mukaisilla poistumisteillä	Välitön	2 työpäivää
7. Tilojen rakenteessa ei saa olla vahinkoa tai puutteita, jotka vaikuttavat tilojen käyttöön	1 työpäivä / 1 tunti	1 työviikko / 2 työpäivää
8. Olla lämpötilaltaan määritellyn mukaisia	4h / 1h	2 työpäivää / 4 h
9. Olla valaisultaan määritellyn mukaisia	4 h / 1 h	1 työpäivä / 4 h
10. Olla varustettuja riittävillä ja turvallisilla sähkö- / atk-pisteillä	1 työpäivä / 1 tunti	2 työviikkoa / 2 työpäivää
11. Olla sisäilman laadultaan määritellyllä tasolla	1 työviikko / 1 h	2 työviikkoa / 2 työpäivää



12. Tilojen tulee sisältää tilavaati- musten mukaiset vesipisteet. Kylmän ja kuuman veden lämpöti- lan tulee noudattaa määriteltyä	4 h / 1 h	2 työviikkoa / 2 työpäivää
13. Tiloissa ei saa olla ylimääräistä kertynyttä kosteutta, äkilliset kosteus- ja vesivahingot	2 h / 1 h	2 työviikkoa
14. Tilojen tulee olla vapaita tuholaisista	2 työpäivää / 1 työpäivä	4 työviikkoa / 1 työviikko
15. Tiloissa tulee olla sovitun tasoinen turvallisuusjärjestelmä	Välitön	2 työpäivää
16. Tilojen tulee olla ohjelman mukaisesti siivotut, hajuttomat ja viemäröinnin kunnossa	4 h / 1 h	2 työpäivää
17. Akustiikan tulee olla määritellyn mukainen	1 työviikko / 1 työpäivä	2 työviikkoa / 1 työviikko
18. Tiloissa tulee olla sovitut kalustot ja laitteet	1 työpäivä	2 työviikkoa / 2 työpäivää

**Pohjois-Savo/
pääkaupunkiseutu**

**Pohjois-Savo/
pääkaupunkiseutu**

Ulko- ja pysäköintialueiden osalta erot	Väliaikainen korjaus	Lopullinen korjaus
3. Olla päällystetty Urakkasopi- mukseen liitetyn työselostuksen tai muutoin sovitun mukaisesti	1 työviikko / 1 työpäivä	4 työviikkoa / 2 työpäivää
4. Alueilla tulee olla riittävä ja käyt- tötarkoituksen vaatimukset täyt- tään toimiva viemäröinti ja sade- vesijärjestelmä (koskee kiinteistön omaa viemäriverkostoa)	2 h / 1 h	2 työpäivää



Liite 4. Taulukko 3. Eroja pääkaupunkiseudun ja Pohjois-Savon elinkaarisopimusten palvelukuvauksissa.

		Pohjois-Savo/ pääkaupunkiseutu	Pohjois-Savo/ pääkaupunkiseutu
Kiireellisyys- taso	Kuvaus	Väliaikainen vasteaika	Lopullinen vasteaika
Hätä	Tekijät, jotka vaarantavat koulun käyttäjien tervey- den ja turvallisuuden	30 min aikana	60 min aikana
Kiireinen	Tekijät, jotka vaikuttavat koulun toimintaan	60 min aikana	1 työpäivä / 2 tuntia
Rutiini	Tekijät, jotka heikentävät palvelutasoa tai muuten kuuluvat hallinnollisiin tai rutiinitehtäviin	8 tunnin aikana / 1 työpäivä	2 työpäivää / 3 työpäivää



Suomen kunnat ja kaupungit ovat käyttäneet erilaisia hankintamuotoja uusiin kouluihin ja peruskorjausten tekemiseen kouluissa. Elinkaarimalli on yksi perinteisten hankintamuotojen rinnalle kehitetty malli, jossa palveluntuottaja yhdellä sopimuksella vastaa ainakin hankkeen suunnittelusta, rakentamisesta ja ylläpidosta pitkän sopimuskauden (10–40 vuoden) ajan. Tässä tutkimuksessa kerättiin informaatiota suomalaisista elinkaarikouluista ja verrattiin tuloksia kaupungin omarahoitteisiin kouluihin, joiden huolto ja ylläpito oli tuotettu kaupungin omalla organisaatiolla. Tutkimus tehtiin vuosina 2014–2016 kuudessa elinaarikoulussa ja kuudessa kaupungin omarahoitteisessa koulussa. Sisäympäristön laatua arvioitiin mittauksin ja käyttäjäkokemuksin. Lisäksi kouluissa arvioitiin rakennusteknisten tekijöiden vaikutusta sisäilman laatuun asiakirjatietojen ja kohteessa tehtyjen katselmusten avulla. Myös koulujen energiakulutustietoja arvioitiin ja verrattiin hankkeissa käytettyjä elinkaarisopimusten sisältöjä.



Työsuojelurahasto

Arbetskyddsfonden

The Finnish Work Environment Fund

Työterveyslaitos

Arbetshälsoinstitutet

Finnish Institute of Occupational Health

PL 40, 00251 Helsinki

www.ttl.fi

ISBN 978-952-261-703-3 (nid.)

ISBN 978-952-261-702-6 (PDF)

